

**YENİ BİR ARABA ARKA SPOYLER TASARIMI,
ARAÇ DİNAMİĞİNE ETKİSİ VE ARAÇ ÜZERİNE
UYGULANMASI**

**2018
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

Mehmet Fatih UÇAR

**YENİ BİR ARABA ARKA SPOYLER TASARIMI, ARAÇ DİNAMİĞİNE
ETKİSİ VE ARAÇ ÜZERİNE UYGULANMASI**

Mehmet Fatih UÇAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Mart 2018

Mehmet Fatih UÇAR tarafından hazırlanan “YENİ BİR ARABA ARKA SPOYLER TASARIMI, ARAÇ DİNAMİĞİNE ETKİSİ VE ARAÇ ÜZERİNE UYGULANMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

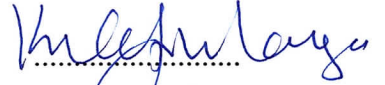


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/03/2018

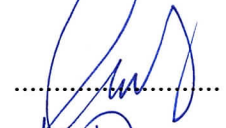
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA(KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU (SÜ)

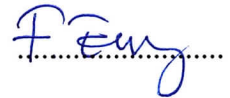


..15./03/2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mehmet Fatih UÇAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ BİR ARABA ARKA SPOYLER TASARIMI, ARAÇ DİNAMIĞİNE ETKİSİ VE ARAÇ ÜZERİNE UYGULANMASI

Mehmet Fatih UÇAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Mart 2018, 83 sayfa

Bu çalışmada, FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS aracın mevcut arka spoyleri tersine mühendislik yöntemi uygulanarak FARO® Design ScanArm® ile taranmış ve mevcut spoyler modelinin 3D CAD modeli oluşturulmuştur. Tersine mühendislik ile CAD modelleri ANSYS Space Claim programı ile yapılmış C-Class model elde edilmiş, mevcut spoylerin modeli A-Class modeli CATIA V5-6R2015 programı ile yapılmıştır.

Yeni arka spoyler modelinin tasarımında NACA airfoil kütüphanesinden NACA 2415, NACA 4412 ve NACA 6409 %9 olmak üzere üç farklı airfoil profil kesiti seçilmiştir. Araç üzerine en çok etki eden olan profil kesiti yapılan CFD analiz sonuçlarına göre NACA6409-%9 airfoil serisi olarak belirlenmiştir. Yeni spoyler tasarımı için bu profil kesiti kullanılarak araç stiline uygun, özgün bir tasarım yapılmıştır.

Sayısal akışkanlar analizi için ANSYS Fluent sayısal simülasyon programı kullanılmıştır. Tasarlanan yeni spoyler modelin üretimi için MDF malzemeden dört adet kalıp üretilmiştir. El yatırma vakum torbalama yöntemi ile karbon fiber spoyler üretilmiş ve araç üzerine monte edilmiştir.

Yapılan araç aerodinamiği testleri sonucunda, FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS aracının mevcut spoyler ve yeni karbon fiber spoylerin şehir içi ve şehir dışı yakıt tüketimi ve performans testlerine tabi tutularak elde edilen veriler incelenmiştir. Yeni spoylerin araca olumlu etkileri gözlemlenirken; yakıt tüketimi ve performans testi karşılaştırmalarında, yüksek hızlardaki aerodinamik etkinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Karbon fiber, spoyler, aerodinamik, sürüklenme katsayısı, basınç katsayısı, reynolds sayısı, CAD, CFD, yakıt tüketimi, performans testi

Bilim Kodu : 930.1.001

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

A NEW CAR REAR SPOILER DESIGN, EFFECTS ON VEHICLE DYNAMICS AND INSTALLATION OF VEHICLES

Mehmet Fatih UÇAR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

March 2018, 83 pages

In this study, FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS was scanned with FARO® Design ScanArm® using the reverse engineered method of existing rear spoiler and 3D CAD model of existing spoiler model was created. The C-Class model with ANSYS Space Claim program was obtained by reversing engineering CAD models and the existing spoiler model A-Class model CATIA V5-6R2015 program was used.

In the design of the new rear spoiler model, three different airfoil profile sections were selected, namely NACA 2415, NACA 4412 and NACA 6409 9% from the NACA airfoil library. The NACA 6409 9% airfoil series was selected as the most effective profile section on the vehicle according to the CFD analysis results. For the new spoiler design, this profile section was used to create a unique design that matches the vehicle style.

ANSYS Fluent numerical simulation program was used for numerical fluids analysis. Four molds were produced from MDF material for the production of the new spoiler model. Carbon fiber spoilers were produced by hand lay-up vacuum bagging method and mounted on the vehicle.

As a result of the vehicle aerodynamics tests, the data obtained by subjecting FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS vehicle to current and new carbon fiber spoilers for urban and urban fuel consumption and performance tests were examined. While the positive effects of new spoilers are observed; fuel consumption and performance test comparisons were observed to have more aerodynamic effects at high speeds.

Key Word : Carbon fiber, Spoiler, aerodynamics, drag coefficient, pressure coefficient, reynolds number, CAD, CFD, fuel consumption, performance test

Science Code : 930.1.001

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yönlendirme ve tavsiyeleriyle çalıőmama bilimsel değerler katan sayın danıőman hocam Prof. Dr. Mustafa YAŞAR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Kalıpların üretilmesinde yardımlarını esirgemeyen, AES ELEKTRONİK MAKİNA SAN. VE TİC. A.Ő. firma yöneticisi Sayın Erhan TUNÇ'a teşekkür ederim.

Fiziksel araç aerodinamiği, yakıt tüketimi ve hız testleri kapsamında profesyonel destek sağlayan PROSMER firma yöneticisi Sayın Özgür ÜNSAL'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen aileme ve eşime her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle teőekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
OTOMOBİL AERODİNAMIĞI	3
2.1. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ PRENSİBİ.....	5
2.1.1. Havanın Özellikleri	5
2.1.2. Doğrusal ve Türbülanslı Hava Akımı	6
2.1.3. Bernoulli Denklemi	7
2.1.4. Reynolds Sayısı (R_e)	8
2.1.5. Sınır Tabaka.....	10
2.1.6. Sürüklenme Kuvveti (F_d).....	11
2.1.7. Momentum.....	12
2.1.7.1. Yunuslama Momenti (Pitching moment) (M_P)	13
2.1.7.2. Yuvarlanma Momenti (Rolling moment) (M_R).....	13
2.1.7.3. Sapma Momenti (Yawing moment) (M_Y).....	14
2.2. SPOYLER.....	14
2.2.1. Spoylerlerin Tarihsel Gelişimi	15
2.2.2. Spoyer Kesit Tipleri	17

2.3. AERODİNAMİK DİRENCİN ARAÇ PERFORMANSINA ETKİSİ	18
2.3.1. Spoylelerin Araç Dinamiği Üzerine Etkisi.....	18
2.3.2. Yakıt Tüketimine Etkisi	20
2.3.3. Hızlanmaya Etkisi	21
2.3.4. Maksimum Hıza Etkisi.....	22
BÖLÜM 3	23
YÖNTEM.....	23
3.1. ARAÇ ÜZERİNE YENİ BİR SPOYLER GELİŞTİRME	23
3.1.1. Mevcut Spoylelerin Tarama ve Tersine Mühendislik Çalışmaları	23
3.1.1.1. FARO® Design ScanArm® Model Tarama	23
3.1.1.2. Tersine Mühendislik İle CAD Data Tasarımı	24
3.1.2. 2D Spoyle Kesit Profili Seçimi	26
3.1.2.1. Alternatif #1 NACA 2415 kesiti (n2415-il)	28
3.1.2.2. Alternatif #2 NACA 4412 kesiti (naca4412-il).....	30
3.1.2.3. Alternatif #3 NACA 6409 9% kesiti (n6409-il)	32
3.1.2.4. Airfoil Kesitlerin Analizi	34
3.1.3. 3D CAD Spoyle Tasarımı	36
3.2. SPOYLER İÇİN MALZEME VE ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİ.....	36
3.2.1. Kompozit Malzemeler	38
3.2.2. Karbon Fiberler	38
3.2.3. Epoksi Reçinler	39
3.2.4. CFRP Malzeme Üretim Yöntemleri.....	42
3.3. SAYISAL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD)	43
3.3.1. CFD Nedir?.....	43
3.3.2. CFD nin Avantajları	44
3.3.3. Araç ve Spoyle Modelin CFD Ortamına Hazırlanması	45
3.3.4. Sanal Rüzgar Tüneli ve Araç Pozisyonu	46
3.3.5. Mesh Oluşturma.....	47
3.3.6. CFD Doğrulama Süreçleri	50
3.4. CFD SİMÜLASYON ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI	52
3.4.1. Mevcut Spoyleler İçin CDF Sonuçları.....	52

	<u>Sayfa</u>
3.4.2. Alternatif #1 NACA 2415 Modeli İçin CFD Sonuçları	53
3.4.3. Alternatif #2 NACA 4412 Modeli İçin CFD Sonuçları	54
3.4.4. Alternatif #3 NACA 6409 %9 Modeli İçin CFD Sonuçları	55
3.4.5. Mevcut Spoyler ve Alternatif #1, #2, #3 Spoyler Modelleri İçin CFD Sonuçları	56
3.5. YENİ SPOYLER 3D KALIP TASARIMI ve ÜRETİMİ.....	57
3.5.1. 3D Kalıp Tasarımı.....	57
3.5.2. Kalıp Modellerinin Üretimi	57
3.6. CFRP SPOYLER ÜRETİMİ.....	59
3.6.1. Kalıp Ayırıcı Hazırlama	59
3.6.2. Vakum Yöntemi İle Karbon Fiber Parça Üretimi.....	60
3.6.3. Spoyler Parçalarının Birleştirilmesi	62
3.7. SPOYLERİN ARAÇ ÜZERİNE MONTAJI	62
BÖLÜM 4	64
YAKIT TÜKETİMİ VE AERODİNAMİK PERFORMANS TESTLERİ.....	64
4.1. TEST ARACININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	64
4.2. EEC 80/1268/EC YAKIT TÜKETİM TESTİ STANDARTLARI	65
4.2.1. Temel Test Ekipmanları	68
4.2.2. Yakıt Tüketimi Hesaplamaları.....	68
4.3. FAZ-1 YAKIT TÜKETİMİ TESTİ.....	69
4.3.1. Mevcut Spoylerli Test Aracı İle Şehir İçi Yakıt Tüketimi Testi	69
4.3.2. Mevcut Spoylerli Test Aracı İle Şehir Dışı Yakıt Tüketimi Testi	70
4.3.3. Yeni Spoylerli Test Aracı İle Şehir İçi Yakıt Tüketimi Testi.....	71
4.3.4. Yeni Spoylerli Test Aracı İle Şehir Dışı Yakıt Tüketimi Testi	72
4.4. FAZ-2 PERFORMANS TESTİ	73
BÖLÜM 5	76
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Aerodinamik ve kaba cisim şekilleri.....	3
Şekil 2.2. Volkswagen AG aracının, rüzgar tüneline tam boyutlu bir araç için orta kesitte hava akım çizgileri.....	4
Şekil 2.3. Acura NSX'in lamine ve türbülans çizgileri	6
Şekil 2.4. Reynolds sayısı bağımsızlığı	9
Şekil 2.5. Reynolds sayısının fonksiyonu olarak aerodinamik direnç katsayısı	9
Şekil 2.6. Sınır tabaka	10
Şekil 2.7. Moment bileşenleri.....	12
Şekil 2.8. Airfoil kesiti tanımları	15
Şekil 2.9. Opel's RAK 2, yan kanatlar	16
Şekil 2.10. Michael May'a ait 1956 Porsche 550 Spyder, ters çevrilen kanatlar	16
Şekil 2.11. Renault Sport F1 takımının arka spoyleri.....	17
Şekil 2.12. Profillerin deneysel olarak incelenmiş aileleri.....	18
Şekil 2.13. Aerodinamik akış yönleri	19
Şekil 2.14. Opel Kadett E GS modeli için toplam direncin dağılımının yüzdeleri ...	20
Şekil 2.15. Aerodinamik direnç katsayısının hızlanmaya etkisi.....	21
Şekil 3.1. FARO® Design ScanArm® ile mevcut spoylerin taranması	24
Şekil 3.2. Spoiler modelinin nokta bulut kümesi.....	24
Şekil 3.3. Ürün yaşam döngüsü modeli ile ilişkili mühendislik ve ilgili işlemleri tersine çevirme aşamaları	25
Şekil 3.4. Spoiler modelinin yüzey örme işlemleri.....	25
Şekil 3.5. Mevcut spoiler A-Class CAD modeli.....	26
Şekil 3.6. NACA 2415 airfoil kesiti	28
Şekil 3.7. NACA 2415 basınç dağılımı.....	29
Şekil 3.8. NACA 4412 airfoil kesiti	30
Şekil 3.9. NACA 4412 basınç dağılımı.....	31
Şekil 3.10. NACA 6409 9% airfoil kesiti	32
Şekil 3.11. NACA 6409 %9 basınç dağılımı.....	33
Şekil 3.12. Alternatif #1, #2, #3 için CAD modelleme ön çalışması	34
Şekil 3.13. Alternatif #1, #2, #3 C_d C_m ve alpha değerleri için karşılaştırmaları	35

Şekil 3.14. Alternatif #1, #2, #3 3D CAD spoyler modelleri.....	36
Şekil 3.15. Spoyler tasarımında malzeme seçimi.....	37
Şekil 3.16. 245 gr/m ² 3k twill ve 380 gr/m ² BA +45/-45 karbon fiber	39
Şekil 3.17. Epoksi reçinelerin bileşen yapısı.....	40
Şekil 3.18. Epoksi reçinelerin bileşenlerin uygulanışı.....	41
Şekil 3.19. Epoksi reçinelerin polimerik yapısı.....	41
Şekil 3.20. MGS laminasyon epoksi seti L285/H287.....	41
Şekil 3.21. Vakum torbalama yöntemi uygulama şeması.....	43
Şekil 3.22. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde yer alan farklı disiplinler	44
Şekil 3.23. Mevcut spoyler için araç simulasyon modeli	45
Şekil 3.24. Alternatif #1, #2, #3 için araç simulasyon modelleri	46
Şekil 3.25. Sanal rüzgar tüneli ve araç pozisyonu	46
Şekil 3.26. Mevcut spoyler analiz modeli mesh özellikleri	48
Şekil 3.27. Alternatif #1 NACA 2415 analiz modeli mesh özellikleri	49
Şekil 3.28. Alternatif #2 NACA 4412 analiz modeli mesh özellikleri	49
Şekil 3.29. Alternatif #3 NACA 6409 %9 analiz modeli mesh özellikleri.....	50
Şekil 3.30. Mevcut spoyler analiz modeli hava akışı	52
Şekil 3.31. Mevcut spoyler analiz modeli basınç hatları	52
Şekil 3.32. Alternatif #1 NACA 2415 analiz modeli hava akışı	53
Şekil 3.33. Alternatif #1 NACA 2415 analiz modeli basınç hatları	53
Şekil 3.34. Alternatif #2 NACA 4412 analiz modeli hava akışı	54
Şekil 3.35. Alternatif #2 NACA 4412 analiz modeli basınç hatları	54
Şekil 3.36. Alternatif #3 NACA 6409 %9 analiz modeli hava akışı	55
Şekil 3.37. Alternatif #3 NACA 6409 %9 analiz modeli basınç hatları	55
Şekil 3.38. Kalıp modelleri	57
Şekil 3.39. CNC'de kalıp modellerinin işlenmesi	58
Şekil 3.40. Dört ayrı kalıp modelleri	58
Şekil 3.41. Yüzey işlemleri bitirilen kalıp modelleri.....	59
Şekil 3.42. İlk kat 245gr/m ² fiber kumap serimi	60
Şekil 3.43. Vakum torbalama ile parça üretimi.....	61
Şekil 3.45. Parçaları birleştirilen yeni spoyler	62
Şekil 3.46. Yüzey işlemleri biten spoyler	63
Şekil 3.47. Araç üzerine monte edilen spoyler.....	63

Sayfa

Şekil 4.1. Test aracının genel ölçüleri.....	64
Şekil 4.2. Mevcut spoylerli test aracı ve yeni spoylerli test aracı	67
Şekil 4.3. Şubat 2018 hava raporu	67
Şekil 4.4. Mevcut spoylerli test aracı şehir içi yol testi	69
Şekil 4.5. Mevcut spoylerli test aracı şehir içi yol testi	70
Şekil 4.6. Yeni spoylerli test aracı şehir içi yol testi.....	71
Şekil 4.7. Yeni spoylerli test aracı şehir dışı yol testi.....	72
Şekil 4.8. Mevcut spoylerli test aracı performans testi.....	74
Şekil 4.9. Yeni spoylerli test aracı performans testi	75



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Havanın özellikleri	5
Çizelge 2.2. Çeşitli cisimlerin sürüklenme kuvvet katsayıları	12
Çizelge 3.1. NACA 2415 airfoil kesiti.....	28
Çizelge 3.2. NACA 4412 airfoil kesiti.....	30
Çizelge 3.3. NACA 6409 9% airfoil kesiti.....	32
Çizelge 3.4. Alternatif #1, #2, #3 airfoil kesit özellikleri	35
Çizelge 3.5. Tahmini karbon fiber tüketimleri	39
Çizelge 3.6. 245 gr/m ² 3k twill ve 380 gr/m ² BA +45/-45 karbon fiber kumaş mekanik özellikleri	39
Çizelge 3.7. MGS laminasyon epoksi seti L285/H287 mekanik özellikleri	42
Çizelge 3.8. Skewness değerlerine bağlı hücre kalitesi	47
Çizelge 3.9. Analiz modelleri için mesh özellikleri	47
Çizelge 3.10. Çözümleme ayarları.....	51
Çizelge 3.11. CFD Yük transfer özeti.....	56
Çizelge 4.1. Test aracı teknik özellikleri.....	64
Çizelge 4.2. FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS fabrika verileri	66
Çizelge 4.3. Yakıt tüketimi test verileri	72
Çizelge 4.4. Mevcut spoylerli test aracı performans testi	73
Çizelge 4.5. Yeni spoylerli test aracı performans testi	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- a : yakıt için hacimsel genleşme katsayısı
 μ : viskozite (m^2/s)
 C_D : sürüklenme kuvveti direnç katsayısı
 C_L : kaldırma-baskı kuvveti direnç katsayısı
 C_{MP} : yunuslama momenti katsayısı
 C_{MR} : yuvarlanma momenti katsayısı
 C_{MY} : sapma momenti katsayısı
D : kat edilen mesafe (km)
 F_d : sürüklenme kuvveti (N)
 F_l : kaldırma-baskı kuvveti (N)
h : deniz seviyesinden yükseklik (m)
L : tipik araç uzunluğu (m)
 M_P : yunuslama momenti (Nm)
 M_R : yuvarlanma momenti (Nm)
 M_Y : sapma momenti (Nm)
 ρ : yoğunluk (kg/m^3)
 P_i : mutlak basınç (N/m^2)
 P_{gl} : atmosferik basınç (N/m^2)
Re : reynolds sayısı
Sg : referans koşullardaki yakıt yoğunluğu (kg/dm^3)
 T_i : mutlak sıcaklık ($^{\circ}C$)
v : havanın hızı (m/s)
 V_i : havanın hacmi (m^3)
 T_o : referans sıcaklık ($^{\circ}C$)
 T_f : Ölçüm noktasında tespit edilen sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)

KISALTMALAR

CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

CFD : Computational Fluid Dynamics (Sayısal Akışkanlar Dinamiği)

CAM : Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)

CNC : Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)

CFRP : Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)

EEC : European Economic Community (Avrupa Ekonomik Topluluğu)

NACA: National Advisory Committee for Aeronautics (Havacılık Ulusal Danışma Kurulu)

TDCI : Turbo Diesel Common Rail İnjeksiyon (Turbo Dizel Common Rail Enjeksiyonu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hareketli cisimlerin hava ile etkileşiminde oluşan aerodinamik kuvvetler ve momentler, cisimlerin çevresindeki hava akımının davranışı ve bu hava akımının sebep olduğu hareketlenmelerin belirlenmesi aerodinamiğin en önemli gerekliliğidir.

Günümüz otomobil üreticileri, insanların ulaşım ihtiyaçlarını karşılamakla birlikte yüksek hız ve yüksek performansa sahip araçları sunarken, aynı zamanda bu araçların kilometre başına düşen yakıt tüketimi değerlerini de gün geçtikçe daha da alt seviyelere çekmeyi başarmışlardır. Otomobil üreticileri aerodinamik etkenlerin önemini, yarış otomobillerinin binek otomobillere göre daha fazla olduğu yüksek hızlara ulaştıkça farketmişlerdir. Güçlü motorlara sahip otomobillerin verimlerini arttırmak için havanın olumsuz aerodinamik etki seviyesini olumlu bir aerodinamik etkiye dönüştürdüklerinde daha güçlü ve daha performanslı otomobiller üretebilmişlerdir. Bu aerodinamik etkilerin üzerine firmalar önemli çalışmalar yapmaktadır.

İlk yarış otomobilleri öncelikli olarak yüksek hıza ulaşmak üzere tasarlanmış ve bu yarış otomobilleri tasarlanırken ana hedef hava sürtünmesini en aza indirmek olmuştur. Ancak otomobiller yüksek hızda, stabilitesini olumsuz olarak etkileyen kaldırma kuvvetleri oluşturmuştur. İlerleyen dönemlerde mühendisler, yarış otomobillerinin yüksek hızlardaki stabilitesi ve araç aerodinamiğini iyileştirmek için uçak kanatlarının tam tersi olacak şekilde negatif kaldırma üreten ters kanat profillerini araç üzerine monte etmişlerdir [1].

Bu çalışmada amaç, FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS aracın mevcut arka spoylerinin oluşturduğu olumsuz hava akımlarını güvenli bir şekilde dengelemek ve bu olumsuz etkileri araca faydalı hale dönüştüren yeni bir arka spoiler geliştirmektir.

Bu çalışmada, genel itibarıyla literatür taraması, tasarım, malzeme seçimi, analiz, imalat ve deneysel çalışmaları içermektedir. Birinci bölümde “Giriş” olup yapılan çalışmanın kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde, otomobil aerodinamiği, havanın akışkan özelliği sebebiyle oluşan aerodinamik direncin otomobillere etkisi ve konularını kapsayan geniş bir literatür taramasıyla ifade edilmiştir. Üçüncü bölümde mevcut araç üzerinde bulunan spoylerin tersine mühendislik çalışması, yeni spoylerin tasarımı ve malzeme seçimi, sayısal akışkanlar dinamiği hesaplamaları kalıp tasarımı ve imalat aşamaları anlatılmıştır. İlgili konu başlıkları altında yer yer literatür çalışmalarına da değinilmiştir.

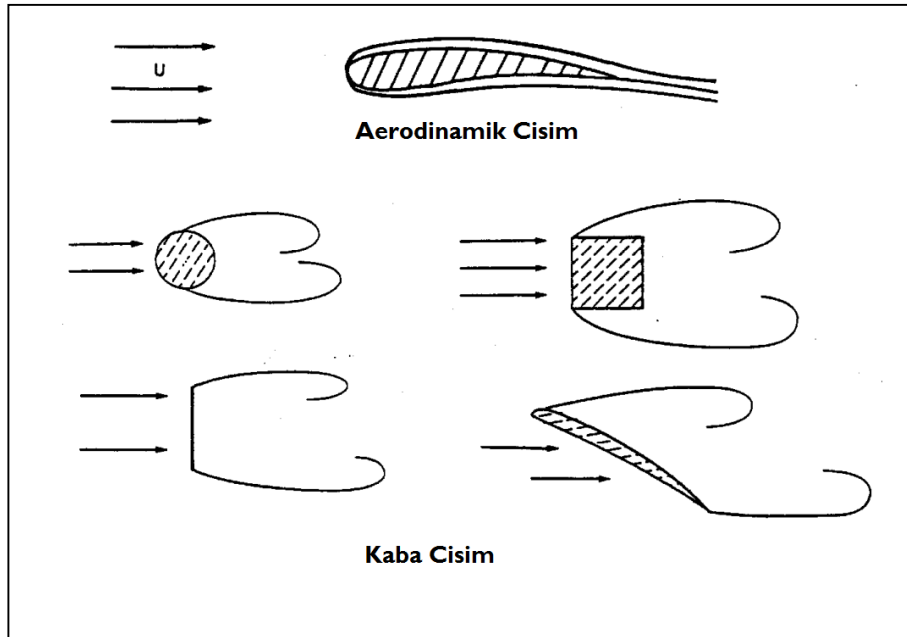
Dördüncü bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan otomobilin teknik özellikleri, mevcut spoylerin ve yeni üretilen karbon fiber spoylerin yakıt tüketimine, araç performansına ve hızlanma esnasındaki davranışları olmak üzere iki ayrı fazdan oluşan taşıt aerodinamiği testlerinden geçirilmiştir.

Son olarak beşinci bölümde, bilgisayar ortamında yapılan CFD analizleri, fizikselde yakıt tüketim ve performans testleri sonuçlarının çalışmaya kattığı fayda amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır. Ayrıca elde edilen kazanım, bulgu ve sonuçlara göre ileride yapılabilecek muhtemel benzer çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

OTOMOBİL AERODİNAMİĞİ

Akışkanlar mekaniği terimlerinde; otomobiller, zemine çok yakın kaba cisimler olarak tanımlanır [2]. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, meydana gelen akış tipi yalnızca gövdenin şekli ile değil, aynı zamanda akış yönelimi ile de tanımlanır ve herhangi bir aerodinamik cisim, belirli serbest akış yönleri için bir kaba cisim haline gelebilir [3]. Otomobillerin dış gövde geometrileri oldukça karmaşıktır. Dış yüzey akışı ile serbestçe etkileşebilen otomobillerin içi ve oyuk boşlukları (yani motor bölmesi ve tekerlek davlumbaz boşlukları vb.) ve dönen tekerlekler geometrik ve akışkan mekaniği olarak karmaşıklığı arttırmalar. Otomobil üzerindeki hava akımı, tamamı ile üç boyutludur ve sınır tabakaları türbülanslıdır. Yaygın olarak akım ayrılması gözlemlenir ve ardından tekrar hava birleşmesi gerçekleşir. Otomobilin arka kısımda büyük türbülanslı hava akımları meydana gelir ve genellikle uzunlamasına izleyen vertekslere bulunur [2].



Şekil 2.1. Aerodinamik ve kaba cisim şekilleri [3].

Hareketli bir aracın tabi olduğu hava akımı üç kategoriye ayrılır:

1. Taşıt çevresindeki hava akımı.
2. Taşıt içerisinden geçen hava akımı.
3. Mekanik kısımdaki hava akımı.

İlk iki hava akım tipleri birbiri ile yakından ilişkilidir. Örneğin, Motor bömesindeki havanın akışı, direkt olarak aracın etrafındaki akış alanına bağlıdır. İki akım birlikte düşünölmelidir. Diğer yandan, motor bölmesinde ve şanzımanda oluşan akım, ilk iki süreç ile doğrudan ilişkili değildir.

Dış hava akımı konusu (Şekil 2.2), otomobillerin aerodinamik performansını ve doğrusal stabilitesini büyük ölçüde etkileyen kuvvetlere maruz bırakır. Yakın zamana kadar araç aerodinamiği üzerine çalışan mühendisler, neredeyse tamamen bu iki etken ile ilgilenmişlerdir. Cam ve farların kir ve biriken yağmur sularından korunması, rüzgâr sesinin azaltılması, hızla giden bir otomobile etkileyen hava akımının ön cam sileceklerini kaldırılması ve motor yağı karterinin ve frenlerin hava akımı ile soğutulması gibi konular üzerine odaklanılmıştır [2].



Şekil 2.2. Volkswagen AG aracının, rüzgâr tüneline tam boyutlu bir araç için orta kesitte hava akım çizgileri [2].

2.1. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ PRENSİBİ

2.1.1. Havanın Özellikleri

Hava, %78 azot ve %21 oksijenden oluşan gaz karışımıdır. Gaz kanunlarından bildiğimiz üzere kütlesi verilen hava sıkıştırılabilir:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.1)$$

Burada;

P_i = mutlak basınç (N/m^2),

V_i = hava hacmi (m^3),

T_i = mutlak sıcaklık ($^{\circ}C$) değerlerini ifade etmektedir.

Belli bir hava kütlesinin yoğunluğunun (ρ) hava kütlesinin hacmine ters orantılı olarak bilinmektedir. Bu nedenle Eşitlik 2.1'e alternatif bir denklem olarak;

$$\frac{P_1}{T_1 \rho_1} = \frac{P_2}{T_2 \rho_2} \quad (2.2)$$

Havanın yoğunluğu önemlidir çünkü sürüklenme kuvveti (F_d) ve baskı kuvveti (F_l) gibi aerodinamik kuvvetlerin büyüklüğünü belirler (İçten yanmalı motorların, silindirlere zorlanabilecek oksijen kütlesine bağlı güç çıkışı için de önemlidir). Hava yoğunluk değeri için Çizelge 2.1'de verilmiştir. Eşitlik 2.2'den, yoğunluğun mutlak basınca oranla arttığı ve mutlak sıcaklığa ters orantılı olduğu görülebilir [4].

Çizelge 2.1. Havanın özellikleri [4].

20°C ve deniz seviyesinde havanın özellikleri	
Atmosferik basınç P_{gl}	101325 N/m^2
Yoğunluk, ρ	1.204 kg/m^3
Viskozite, μ	1.8x 10 ⁻⁵ m^2/s

Çizelge 2.1'de belirtilen deniz seviyesindeki P_{gl} atmosferik basınç, deniz seviyesinden yükseklik arttıkça katlanarak azalır:

Deniz seviyesinden h metre yükseklikte ki atmosfer basıncı;

$$P_{gl}e^{(-h/7000)} \quad (2.3)$$

Hava ve diğer tüm akışkanların bir diğer önemli özelliği ise viskozite, μ 'dir. Bu, bir hava katmanının diğer katmana geçmesine neden olan kuvvetin bir ölçüsüdür ve hareketli gaz moleküllerinin etkileşimi ile ilgilidir [4].

2.1.2. Doğrusal ve Türbülanslı Hava Akımı

Hava akışı, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, doğrusal veya türbülanslı, iki halden birinde olabilir. Havanın akışı, hava partiküllerinin hareketini izleyen akım çizgilerinden oluşan grafikler olarak sunulabilir.

Akım çizgileri düzenli olarak ve akımın ortalama yönüne paralel olduğunda akımın doğrusal olduğu söylenir. Genellikle bir cisimle etkileşimden sonra, türbülanslı akım olarak bilinen akım kararsızlaşabilir veya kaotik hale gelebilir. Doğrusal hava akımından türbülanslı hava akımına geçiş genellikle akışkan parçacıkların kinetik enerjisini ısıya dönüştüren viskoz kuvvetlerin birikimi ile başlar. Genel olarak, spoiler gibi yarış arabası aerodinamik ekipmanları, doğrusal akımlarda daha iyi performans gösterir ve bu nedenle asıl amaç; hava, arka spoilere ve difüzere doğru hareket ederken doğrusal akımın korunmasıdır [4].



Şekil 2.3. Acura NSX'in lamine ve türbülans çizgileri [5].

2.1.3. Bernoulli Denklemi

Bernoulli Denklemi, akışkanların sahip oldukları enerjinin korunumunun bir ifadesi olarak düşünülebilir. Genellikle "Bernoulli etkisi" terimi ile tanımlanan nitel davranış, akım hızının arttığı bölgelerdeki sıvı basıncının azalmasıdır [6]. Bernoulli denklemi ile akışkanın yüzeylerde oluşturduğu basınç ve kaldırma kuvveti değerleri kolaylıkla hesaplanabilir. Fakat Bernoulli denklemini doğru bir şekilde kullanmak için, akışın neredeyse sürtünmesiz olan bölgelerle sınırlandırılması gerekir [7].

Hareketli bir aracın maruz kaldığı akım süreçleri üç kategoriye ayrılır:

1. Akışkan kütlelerinden ve hızından kaynaklanan kinetik enerji = $\frac{1}{2} mv^2$ (2.4)

2. Basınç enerjisi = PV (2.5)

3. Akışkan kütlelerinden ve yükselmesinden kaynaklı potansiyel enerji = mh (2.6)

Burada v akışın hızı ve V hacmidir.

(2.7)

$$\frac{1}{2} mv^2 + PV + mh = \text{sabit}$$

Eğer akışkanın yoğunluğu ρ , ise;

(2.8)

$$V = \frac{m}{\rho}$$

İkinci aşamaya geçiş:

(2.9)

$$\frac{1}{2} mv^2 + \frac{Pm}{\rho} + mh = \text{sabit}$$

Hava gibi sıvı bir gaz için potansiyel enerji terimi önemsizdir ve göz ardı edilebilir. Ayrıca m ile bölünür ve ρ ile çarpılırsa:

(2.10)

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + P = \text{sabit}$$

Artık geriye kalan iki terimin basınç birimleri var ki burada P statik basınçtır ve $\frac{1}{2} \rho v^2$, karışıklık haliyle dinamik basınçtır. (Dinamik basınç, tüm kinetik enerji basınç enerjisine dönüştürüldüğünde ortaya çıkan ek statik basınçtır).

Bernoulli denkleminin kullanışlı bir formu, bir akım hattı boyunca farklı noktalardaki iki duruma karşılık gelir:

(2.11)

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + P_2$$

Burada görülebileceği gibi, akım hızı, v_1 den v_2 'ye artarsa, statik basınç P_2, P_1 ile eşleşecek şekilde azalır [4].

2.1.4. Reynolds Sayısı (R_e)

Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını ifade eder [8]. Kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvveti gibi aerodinamik olaylar genellikle rüzgar tünellerinde ölçekli modeller kullanılarak araştırılmaktadır. Testlerde ölçülen sonuçların tam ölçekli otomobil için uygun olmasını sağlamak için, model testlerinde asimetric Reynold sayısının tam ölçekli bir otomobile uygun olmasını sağlamak gereklidir. Bu yaklaşım dinamik similite olarak da bilinir [4].

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2.12)$$

Burada;

ρ = havanın yoğunluğu (kg/m^3)

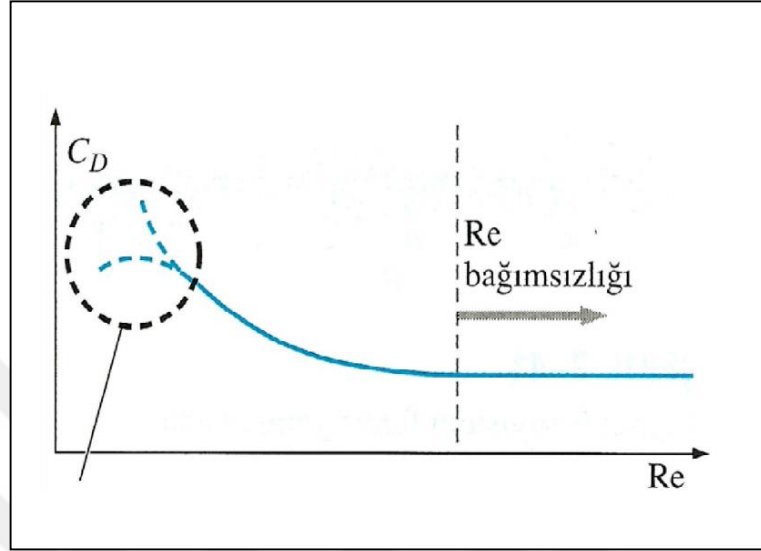
μ = havanın viskozitesi (m^2/s)

v = havanın hızı (m/s)

L = tipik uzunluk aracın uzunluğunu (m) ifade etmektedir.

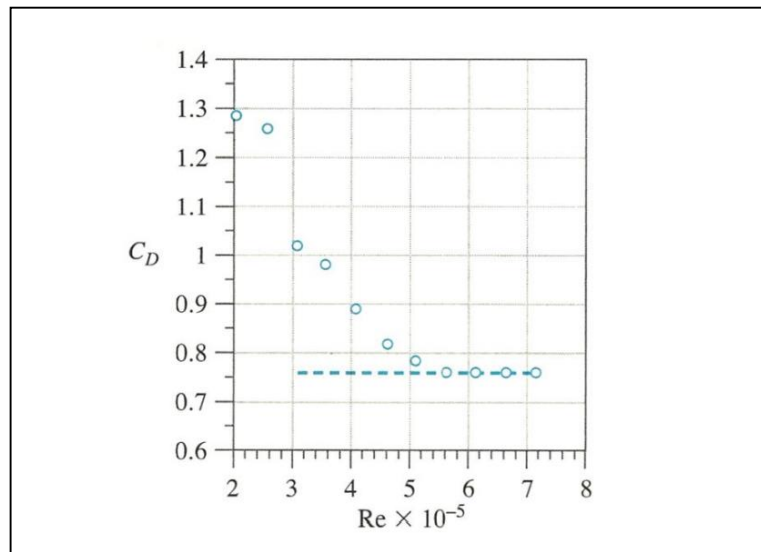
Reynolds sayısı boyutsuzdur ve havanın özkütlesi ρ ve viskozitesi μ sabit olduğundan dolayı otomobilin hızı ve tipik araç uzunluña bağlı olarak değişkenlik

göstermektedir. Bu değer otomobil hızına bağlı olarak artış gösterirse türbülanslı sınır tabakaya geçiş durumu daha öne gelecektir. Ayrıca, Reynolds sayısı araç dışında oluşan hava akımı yönünü belirlemek için önemlidir [9].



Şekil 2.4. Reynolds sayısı bağımsızlığı [9].

Reynolds sayısı gerçek model ile küçültülmüş prototip model oranının eşleştirilemediği durumlarda Şekil 2.4 te görülen Reynolds sayısının bağımsızlığından yararlanılabilmektedir. Şekil 2.5 te direnç katsayısının minimum eşik değerine ulaşması ile Reynolds sayısının sabitlendiği görülmektedir ve bu durum Reynolds sayısının bağımsızlığı olarak nitelendirilir [9].

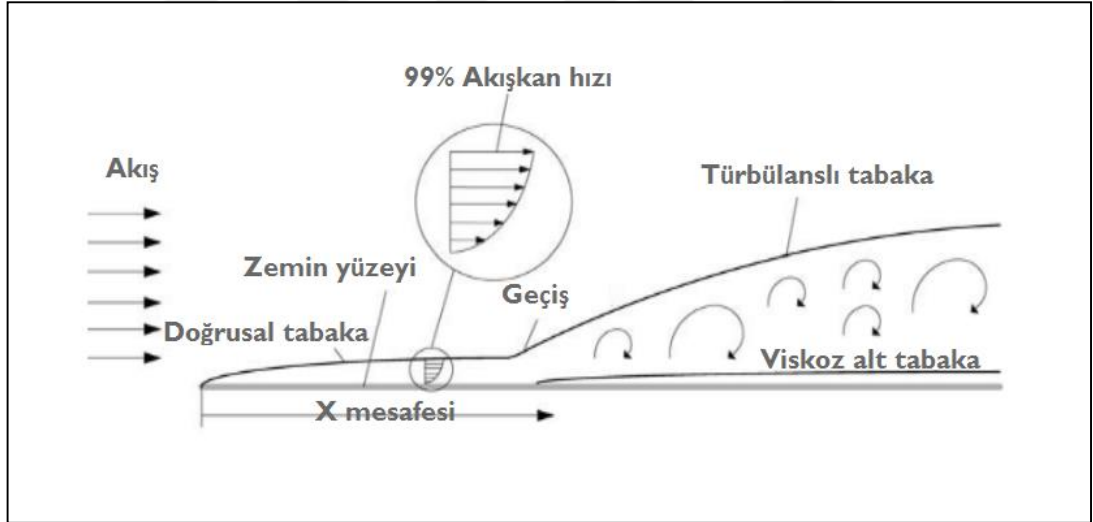


Şekil 2.5. Reynolds sayısının fonksiyonu olarak aerodinamik direnç katsayısı [9].

2.1.5. Sınır Tabaka

Akışkanlar cisim üzerinden geçerken, yüzeyin hemen yanındaki moleküller yüzeye yapışır. Yüzeyin hemen üstündeki moleküller, yüzeye yapışan moleküller ile olan çarpışmalarında yavaşlamaktadır. Bu moleküller sırayla üzerlerindeki akışı yavaşlatır. Akışkan molekülleri yüzeyden ne kadar uzaklaşırsa, cisim yüzeyinden etkilenen çarpışmalar o kadar az olmaktadır. Bu, yüzeyin yakınında, yüzeyin sıfırdan serbest akış değerine değişen ince bir akışkan tabakası oluşturur. Mühendisler, bu katmanı akışkan sınırında olduğu için sınır tabakası olarak adlandırılmaktadır [10].

Sınır tabakası yüzeyde oluşturduğu sürüklenme sebebiyle cisimlerin gerçekte olduğundan biraz daha büyük görünmesini sağlar. Sınır tabakasının boyutu, uzunluk için sınır tabakasının başlangıcından itibaren x mesafesi kadar değişimi ile elde edilen yerel Reynold sayısını (Re_x) kullanarak tahmin edilebilmektedir (Şekil 2.6) [4].



Şekil 2.6. Sınır tabaka [4].

Aerodinamik ölçümler sabit bir zemini kullanarak yapıldığında, sürtünme kuvveti sınır tabakasının oluşturduğu etkisi için düzeltilmelidir. Test edilen aracın tekerlekleri kısmen sınır tabakasının içinde kalır. Bu nedenle, ölçülen sürüklenme kuvveti değeri çok düşüktür. Otomobiller için böyle bir düzeltme yaklaşık olarak $C_D \approx 0.01$ civarında olmaktadır [11].

Tasarımcıların sınır tabakasını aerodinamik sürüklenmede önemli bir faktör olarak görmelerinin başlıca iki nedeni vardır. Birinci sebep, sınır tabakası yer değiştirme katmanı boyunca araç yüzeyinin efektif kalınlığına katkıda bulunmaktadır, dolayısıyla basınç sürtünmesini arttırmaktadır. İkinci sebep, aracın yüzeyindeki kesme kuvvetlerinin, yüzey sürtünmesine neden olmasıdır; bu da, akışkanın, içinden geçmekte olan nesnenin yüzeyine karşı sürtünmesinden kaynaklanır [12].

2.1.6. Sürüklenme Kuvveti (F_d)

Sürüklenme kuvveti, havanın yoğunluğuna, hızın karesine, havanın viskozitesine ve sıkışabilirliğine, otomobilin gövdesinin boyutuna ve şekline ve otomobilin karosunun akışa olan eğimine bağlıdır [13]. Bu sebeple otomobillerin tasarımında en önemli aerodinamik faktörlerden biri sürüklenme kuvvetidir. Sürüklenme kuvveti otomobilin hareket yönüne zıt yönde oluşur. Bu kuvvetin oluşmasının sebeplerinden birisi otomobil ile yol arasındaki yuvarlanma direnci bir diğeri ise aerodinamik sürüklenme kuvvetidir. Aerodinamik sürüklenme kuvveti ortalama 80km/s'den yüksek hızlarda otomobile etkisini göstermektedir. Sürüklenme kuvvetinin değişmesi otomobil aerodinamiğini ve yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Otomobil üzerine etki eden aerodinamik sürüklenme kuvvetinin %90'dan fazlası otomobil tasarımından kaynaklanmaktadır [14].

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (2.13)$$

Burada;

F_d = aerodinamik sürüklenme kuvveti (Nm)

ρ = havanın yoğunluğu (kg/m^3)

A = kuvvetin araç üzerine etki ettiği yüzey alanı (m^2)

v = havanın hızı (m/s)

C_d = sürüklenme direnç katsayısını ifade etmektedir.

Toplam sürüklenme kuvveti veya yüzey sürüklenmesi, rüzgar tünellerinde ölçülen kuvvettir ve hem yüzey sürtünmesi hem de basınç sürüklenmesinin toplamıdır. Öte yandan, çeşitli nesnelere için tipik sürüklenme katsayılarının verildiği Çizelge 2.2'de

gösterildiği gibi yunus balığı için 0.001'den daha düşük bir sürtünme katsayısının rapor edildiği görülmektedir.

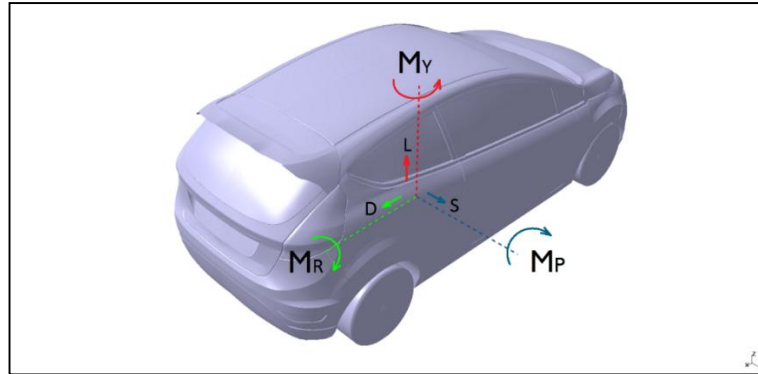
Çizelge 2.2. Çeşitli cisimlerin sürüklenme kuvvet katsayıları [4].

Cisim	Sürüklenme katsayısı C_D
Dikdörtgen levha	1.2
Spoilersiz yarış otomobili	0.6
Spoyerli yarış otomobili	0.7 - 1.2
Otomobil	0.35
Modern Eko-otomobil	0.25
Uçak	0.012
Yunus balığı	<0.01

2.1.7. Momentum

Momentum kavramının, yarış otomobillerindeki etkisi çok nadiren tartışma konusu olmaktadır. Fakat birçok aerodinamik ekipmanın özellikle de spoilerlerin çalışmasını ifade etmek güçlü bir anlam sağlar. Havanın belirli bir kütlesi olduğu için Newton, akışın değişen yönünün bir dış kuvvet gerektirdiğini söylemiştir. Ayrıca, aerodinamik ekipmanlar otomobil üzerindeki kuvvete eşittir ve karşısındadır. Bu kuvvetlerin havanın momentumunda bir değişim oranı üretmesi gerekir [4].

Otomobil üzerine etki eden momentum yunuslama momenti (M_P), yuvarlanma momenti (M_R), ve sapma momenti (M_Y), olarak üç bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Moment bileşenleri.

2.1.7.1. Yunuslama Momenti (Pitching moment) (M_P)

Yunuslama momenti, otomobillerde ön ve arka akslar arasında ağırlık transferine neden olmaktadır. Yunuslama momenti genellikle otomobilin yönünü aşağıya doğru indirecek şekilde negatif etki yapmaktadır. Bu, arka aksı yere indirir ve mevcut çekişi daha da düşürür. Yavaşlama momenti sürüklenmeden kaynaklanır ancak sürüklenme kendisi yer düzleminde hareket etmez. Kaldırma kuvveti tekerlek tabanının tam merkezinde hareket etmeyebilir [15].

Otomobilin dış yüzeyinin herhangi bir noktasında oluşan yunuslama momentini hesaplayabilmek için ağırlık merkezine göre bileşenleri X_c ve Y_c mesafede belirlenirse;

$$M_P = F_L \cdot X_c + F_d \cdot Y_c = \rho \cdot A \cdot (C_L \cdot X_c + C_D \cdot Y_c) = \rho \cdot A \cdot L \cdot C_{MP} \quad (2.14)$$

Burada;

L = tipik uzunluk aracın uzunluğunu (m),

C_{MP} = yunuslama momenti katsayısını ifade etmektedir.

2.1.7.2. Yuvarlanma Momenti (Rolling moment) (M_R)

Yuvarlanma momenti, uzunlamasına (yatay) eksen üzerinde hareket eder ve yan rüzgar kuvvetleri tarafından üretilir. Süspansiyon sistemine bağlı olarak aracın kararlılığı üzerinde çok az etkisi vardır [15].

$$M_R = F_Y \cdot Y_c = \rho \cdot A \cdot L \cdot C_{MR} \quad (2.15)$$

Burada;

L = tipik uzunluk aracın uzunluğunu (m),

C_{MR} = yunuslama momenti katsayısını ifade etmektedir.

2.1.7.3. Sapma Momenti (Yawing moment) (M_Y)

Yan rüzgârdan kaynaklanan sapma momenti, orta tekerlek taban konumunda etkili değildir ve otomobili hareket yönünden uzaklaştırmaya meyilli bir sapma momenti üretecektir [15].

$$M_Y = F_Y \cdot Y_C = \rho \cdot A \cdot L \cdot C_{MY} \quad (2.16)$$

Burada;

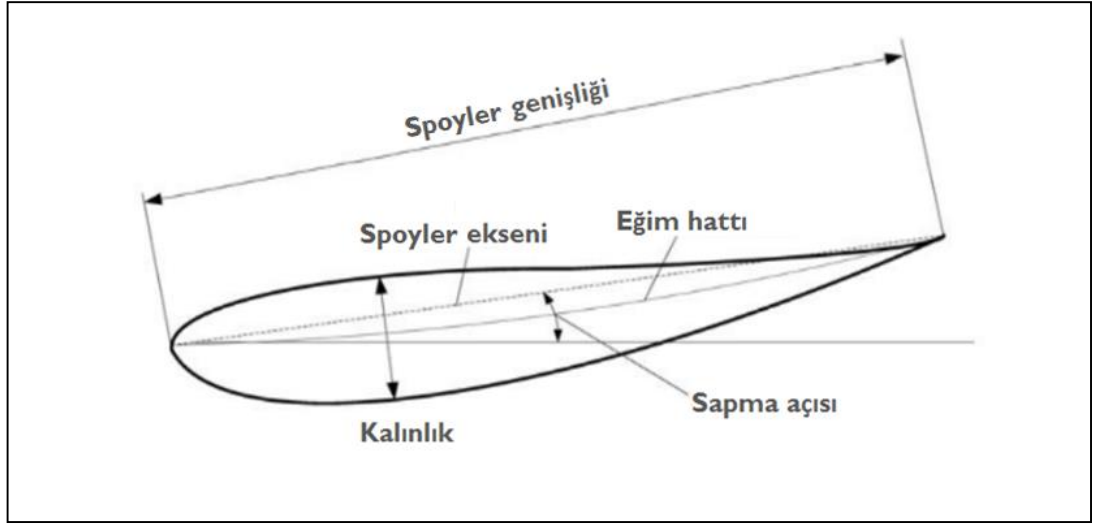
L = tipik uzunluk aracın uzunluğunu (m),

C_{MY} = yunuslama momenti katsayısını ifade etmektedir.

2.2. SPOYLER

Kanatlar havacılık endüstrisinde uçakların havalanması için tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu tasarımlar motor sporlarında; zemine ters etki olacak şekilde baskı kuvveti oluşturmak için ters çevirilmiştir. Basit olarak düz bir levha ya da kontralplak ile havanın yön değiştirilmesi sağlanarak bu etkiyi oluşturmak mümkündür. Fakat özenle tasarlanmış bir airfoil kesitine göre çok verimsiz olacaktır [4].

Spoiler eksenini ön ve arka çizgileri birleştiren düz bir çizgidir. Spoiler ekseninin eğim hattı sapma açısı ile ilişkilidir. Kalınlık ise airfoil profilinin en kalın yüksekliğini ifade eder ve genellikle spoiler genişliği ile orantılıdır. Spoiler eksenini spoiler kesitinin eğriliği Şekil 2.8'de gösterdiği gibi spoilerin ortasından geçer. Spoiler ekseninden eğim hattına olan maksimum mesafe de spoiler genişliğine oransal olarak bağlı olabilmektedir [4].



Şekil 2.8. Airfoil kesiti tanımları [4].

2.2.1. Spoilerlerin Tarihsel Gelişimi

Aerodinamiğin temelleri son 200 yıldır formüle edilmiş olmasına rağmen, tüm ilkeleri yarış arabası tasarımcıları tarafından aktif bir şekilde kullanılamamıştır. Doğal olarak ilk tasarımcılar yarış otomobilleri tasarımında düşük sürtünme katsayısına odaklanmışlardır. 1920'lerin sonlarında otomobiller üzerindeki düşey yükü etkilemek için kanatların eklenmesiyle ilgili bazı deneyler yapılmasına rağmen, bu büyük yenilik, takip eden 35 yıl boyunca tamamen görmezden gelinmiştir. 1928 yılında Opel'in geliştirdiği roket motorlu otomobiller RAK1 ve RAK 2 için yüksek hızlarda aracın havalanmasını engellemek amacıyla dingil mesafesinin ortasına aracın sağ ve sol tarafına ters kanatları yerleştirilmiştir (Şekil 2.9). 1956 yılında İsviçreli bir mühendis ve Michael May isimli amatör yarış pilotu kendi araçları Porsche 550 Spyder'ın kokpiti üzerine ters yönlü kanatları monte etmişlerdir. Michael May'ın yarış arabası (Şekil 2.10) Porsche'nin ürettiği arabalardan daha hızlı olduğu ispatlandığında Porsche, takip eden sürücülerin görüş açısını engellediği bahanesiyle, bu kanatların yasaklanması için başarılı bir lobi yapmasıyla, geliştirilen bu fikir daha ileri gidememiştir [16].



Şekil 2.9. Opel's RAK 2, yan kanatlar [16].



Şekil 2.10. Michael May'a ait 1956 Porsche 550 Spyder, ters çevrilen kanatlar [16].

1970'lerin ortalarından itibaren “zemin etkisi” downforce keşfedildi. Lotus mühendislerinin otomobilin alt kısmını akıllıca tasarlamasıyla, tüm şasinin arabayı yola emen dev bir kanat gibi hareket edebileceği öğrenilmiştir. Bu düşüncenin nihai örneği, Gordon Murray tarafından tasarlanan Brabham BT46B'ydı ve aslında soğutma vantilatörü kullanarak arabanın altındaki kapalı bir alandan havayı alıp büyük bir zemin etkisi oluşturması olmuştur. Diğer takımların teknik mücadeleyi aşamaması nedeni ile yarışmadan çekilmişlerdir. Bu olayı takip eden süreçte başlarda zemin

etkilerinin faydalarından yararlanma durumları yasaklanmış olsada sonraları için bu yasak bir gereklilik haline gelmiştir [17].

Aerodinamik gelişimi takip eden yıllarda daha da doğrusal olmuştur, ancak her geçen gün artan hızlar ve diğer çeşitli faktörler, yarış düzenleyicilerinin kuralları birkaç kez zorlaştırmasına ve sıkı düzenlemeler getirmelerine yol açmıştır [17]. Şekil 2.11 de Renault Sport F1 takımının arka spoyler modeli verilmiştir.



Şekil 2.11. Renault Sport F1 takımının arka spoyleri [17].

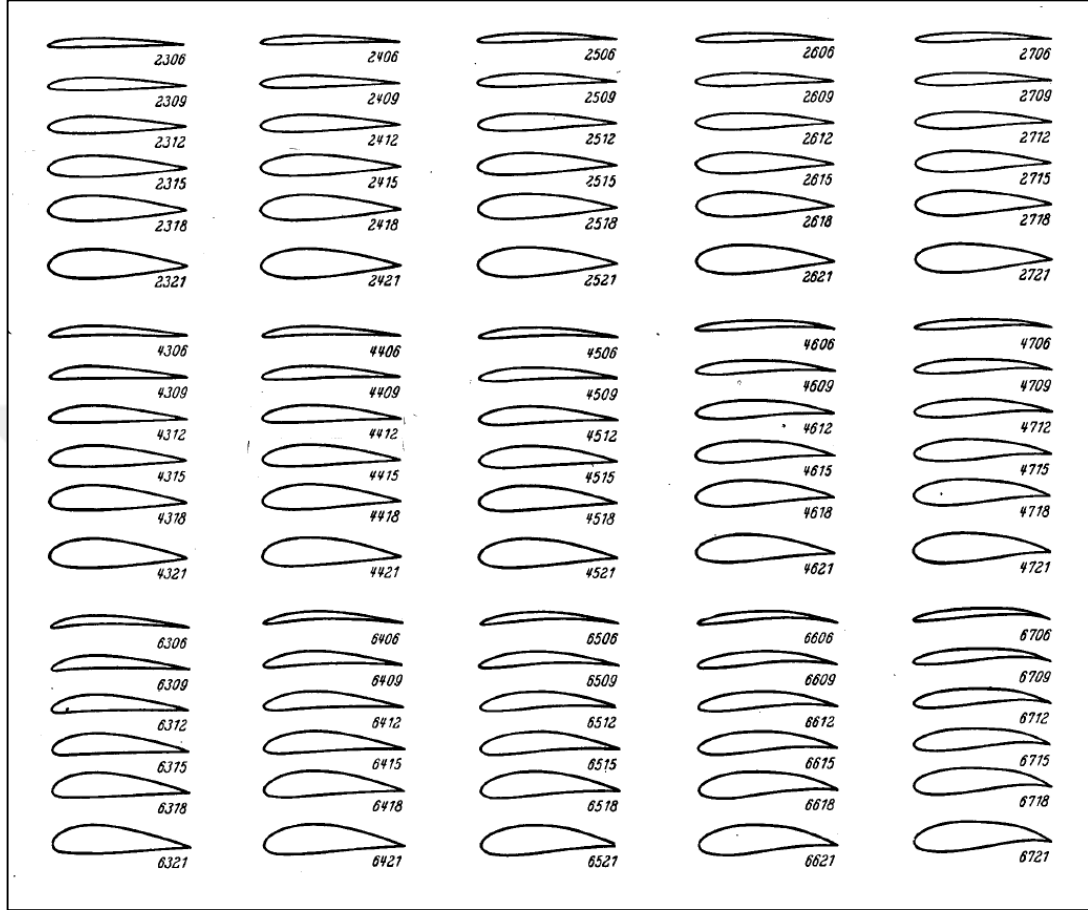
2.2.2. Spoyler Kesit Tipleri

Günümüzde yüzlerce kanat profili geliştirilmiş ve yayınlanmıştır (Şekil 2.12). Bu kanat profillerini mevcut bir geometriye adapte etmek mümkündür. Farklı sapma açılarıyla seçilen profilin kaldırma (C_L) ve sürüklenme (C_D) katsayıları ile benzer bir Reynolds sayısı kullanarak hesaplanan sonuçlar oldukça verimli bir yöntemdir. Araçlar için kaldırma katsayısı aslında kanat ters olduğu için baskı kuvveti katsayısıdır.

$$Downforce = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (2.17)$$

$$Dragforce = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (2.18)$$

Spoiler kesit profili seçiminin en iyi şekli öncelikle spoiler ağırlığını göz önüne alarak otomobile istenmeyen ağırlık eklememektir.



Şekil 2.12. Profillerin deneysel olarak incelenmiş airfoil aileleri [18].

Spoiler, kanat adı verilen bir kesite sahip olacak şekilde tasarlanmış ve ana işlevi spoilerin her iki tarafında, üst ve alt yüzeyleri ifade eden optimum basınç dağılımının oluşturulmasıdır.

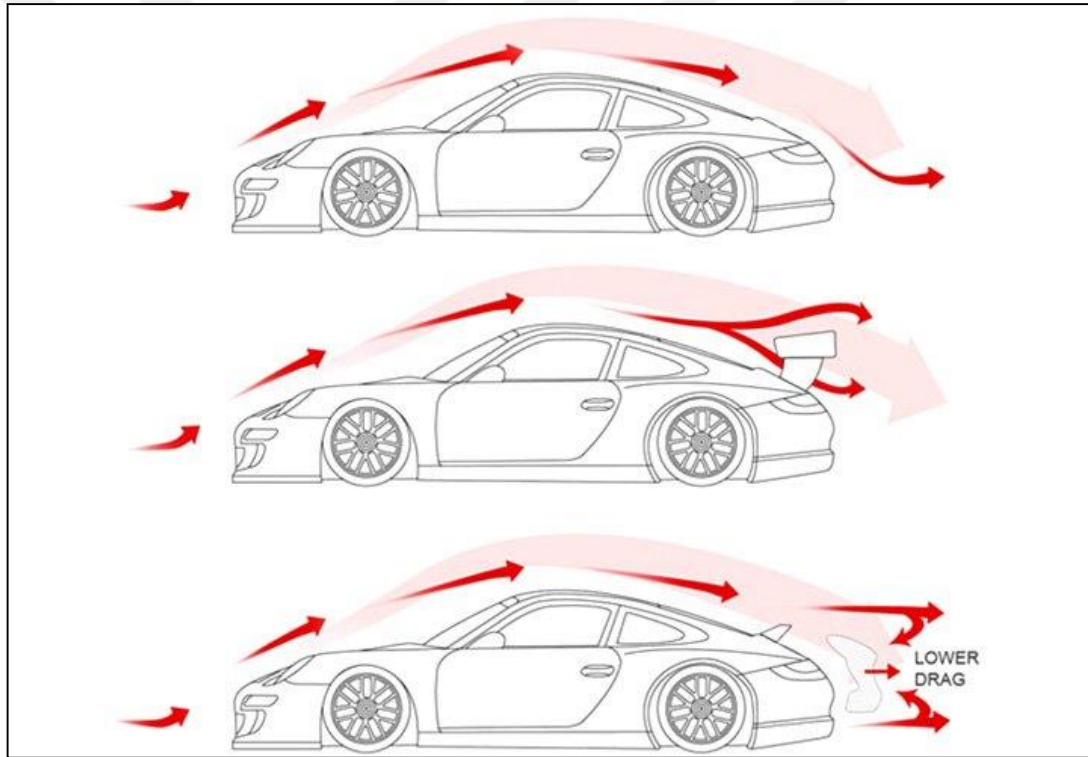
2.3. AERODİNAMİK DİRENCİN ARAÇ PERFORMANSINA ETKİSİ

2.3.1. Spoilerin Araç Dinamiği Üzerine Etkisi

Spoiler, bir otomobilin seyir esnasında arka kısmında istenmeyen düzensiz hava akımını düzenli harekete dönüştürebilecek bir aerodinamik ekipman olarak tasarlanmıştır. Spoilerlar NASCAR araçları gibi sedan tipi otomobillerde yaygın

olarak kullanılmaktadır. Bu aerodinamik destek elemanları bagaj kapağının arka kısmına bir kuvvet oluşturarak aşağı yönde bir kuvvet oluşturmaktadır. Spoilerler genellikle yarış ve yüksek performanslı otomobillere takılırken binek otomobillerde de yaygınlaşmaktadır.

Otomobillerin arkasında bulunan arka spoiler çeşitli amaçlara hizmet edebilir. Hava yukarı doğru saptırıldığında, arka bagaj kapağı üzerindeki basınç artar, bu nedenle kaldırmayı azaltmak için aracın en avantajlı noktasında bir indirme kuvveti oluşturur. Bu değiştirilmiş basınç dağılımı x ve y yönünde entegre edilmiş olursa, sonuç daha düşük çekme ve kaldırma olur (Şekil 2.13).



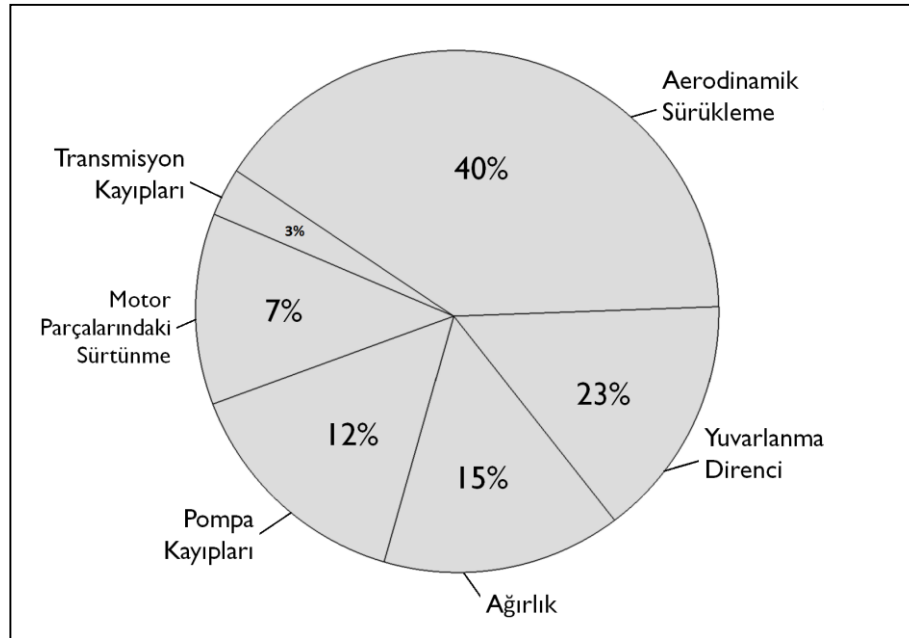
Şekil 2.13. Aerodinamik akış yönleri [19].

Arka spoiler, otomobiller üzerine etki eden sürüklemeyi, hareket halindeki araçların arka aks kaldırmasını ve arka yüzdeki kiri azaltabilmesi gibi üç etkisi vardır. Arka spoilerlerin gelişmesi ile birlikte ilk olarak sürüklenme kuvvetine verilen önem, negatif kaldırma kuvvetine dönüşmüştür.

Tavan spoylerler (arka cam üstü spoyler olarak bilinen) tipleri daha çok hatchback ve station wagon ve spor tipi aracın arka kısmının keskin bir şekilde bittiği otomobil tiplerinde daha fazla etkilidir. Bu gibi durumlarda, bu tavan spoylerleri, kararlılığı artırmak için gereken ekstra kuvveti etkili bir şekilde oluşturur. Bununla birlikte, gövde kenarında daha büyük kanatlarla donatılmış olan hatchbacklerde de yararlı olabilir, çünkü daha fazla hava akışı kanat yüzeyi üzerinde yönlendirilir [20].

2.3.2. Yakıt Tüketimine Etkisi

Aerodinamik sürüklenme direncinin artması otomobillerde yakıt tüketimini artmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı otomobillere etki eden sürüklenme direnci katsayılarını düşürmeye yönelik çalışmalar her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Şekil 2.14'te ortalama 85 km/s hızla seyir eden Opel Kadett E GS'e etki eden en büyük etkinin aerodinamik sürüklenme kuvveti ve yuvarlanma direnci olduğu görülmektedir. Bu iki aerodinamik etkinin yüzdesel olarak toplamı, taşıt ağırlığı, mekanik aksamda oluşan kayıplar ve motor parçalarında oluşan sürtünme kayıplarından daha fazla miktarda olduğu açıktır [9].

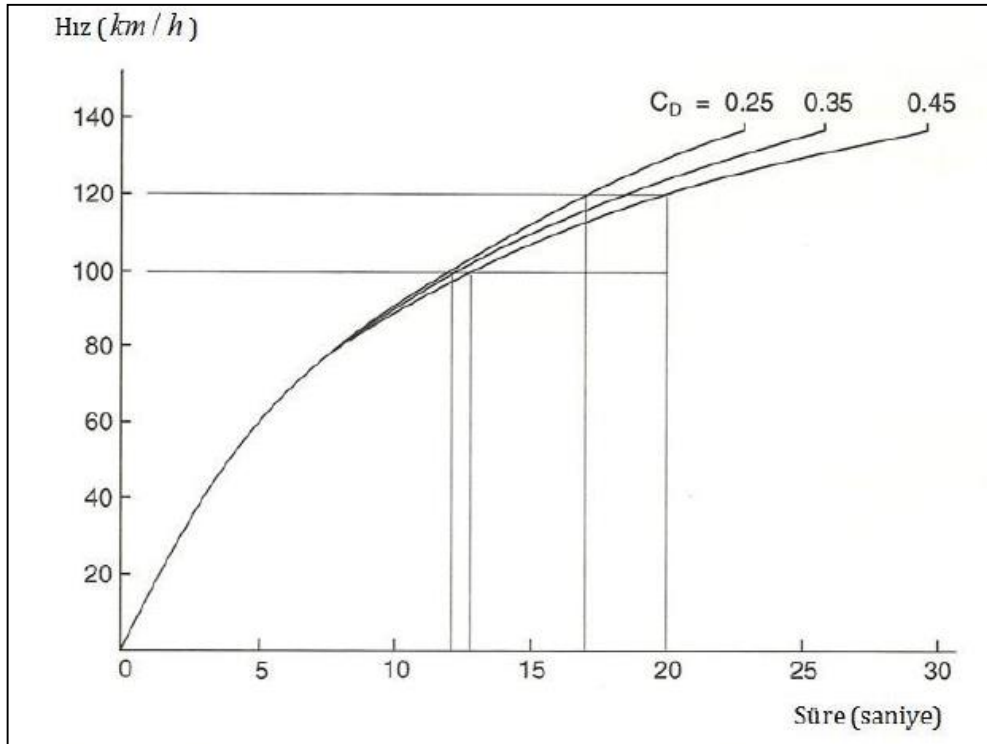


Şekil 2.14. Opel Kadett E GS modeli için toplam direncin dağılımının yüzdeleri [9].

Spoilerlerin kullanım amacı genellikle otomobillerin arka kısmında oluşan hava akımını düzenlemek olsa da bilgi ve beceri gerektiren bir mühendislik çalışması sonrası yakıt ekonomisine %7 lik bir etki yapabileceği yapılan çalışmalar sonucu ortaya koyulmuştur [21].

2.3.3. Hızlanmaya Etkisi

Otomobiller seyir halindeyken motorun tekerleklere ilettiği kuvvet, motorun ürettiği kuvvetten daha düşüktür. Motorun ürettiği gücün bir kısmı güç aktarımındaki sürtünmelere harcanırken bir kısmında otomobilin ivmelenmesinde harcanır. Bir yarış otomobilinde ivmelenme anında tekerleklere iletilen motor gücü %40 oranında kadar kayıplara uğrayabilir. Bu kayıpların önemli bir kısmı da araç yönüne zıt yönde etki eden sürüklenme kuvvetinden kaynaklanır. Bir yarış aracında ivmelenme sırasında tekerleklerdeki güç motor gücünün % 40'ına kadar düşebilir. Hızlanma sırasında motor gücünün bir kısmı da taşıt hareketine zıt yönde etki eden sürüklenme kuvvetinin oluşturduğu güç için harcanır. Sürüklenme direnç katsayısının otomobiller üzerinde oluşturduğu etki Şekil 2.15'de görülmektedir.



Şekil 2.15. Aerodinamik direnç katsayısının hızlanmaya etkisi [9].

Şekil 2.15’de ortalama 1000kg ağırlığındaki bir otomobilin hızlanma verileri görülmektedir. Literatürde yerini almış 0-100km/s hızlanma standardı aralığı incelendiğinde otomobilin sürüklenme direnç katsayısı değişimi hızlanma süresine direk olarak etki ettiği görülmektedir. Sürüklenme direnç katsayısı C_D 0,45’den 0,35’e azaltıldığında, bu değer hızlanma süresini 0,5 saniye iyileştirmiştir. 100km/s’den yüksek hızlarda sürüklenme direnç katsayısının otomobiller üzerine önemli ölçüde etki ettiği görülmektedir. Sürüklenme direnci 0,45 olan otomobil bu hıza 20. saniyede ulaşırken sürüklenme direnci 0,25 olan bir diğer model ise yaklaşık olarak üç saniye daha önce bu hıza ulaşabilmektedir [9].

2.3.4. Maksimum Hıza Etkisi

Spoilerler yakıt tüketimi ve hızlanma konusunda otomobile fayda sağlarken otomobilin otomobiller üzerine ek bir baskı kuvveti oluşturduğu ve sürüklenme direncini arttırdığı için maksimum hızına olumsuz olarak etki ederek en yüksek hız seviyesini düşürmektedir.

BÖLÜM 3

YÖNTEM

3.1. ARAÇ ÜZERİNE YENİ BİR SPOYLER GELİŞTİRME

FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS aracın mevcut arka spoyleri tersine mühendislik yöntemi uygulanarak FARO® Design ScanArm® ile taranmış ve mevcut spoyler modelinin 3D CAD modeli oluşturulmuştur.

Yeni spoyler modeli için NACA airfoil kütüphanesinden üç farklı airfoil kesiti seçilmiştir. Seçilen airfoil kesitlerinin araç üzerinde istenilen etkiyi oluşturan NACA6409 %9 airfoil serisi kanat porfili kullanılmış ve araç hatlarını koruyacak şekilde yeni bir tasarım yapılmıştır. Tersine mühendislik ile CAD modelleri ANSYS Space Claim programı ile yapılırken, yeni spoyler modeli CATIA V5-6R2015 programı ile yapılmıştır.

Bu sayede, aracın arka kısmında oluşan hava akımı çizgileri incelenmiş ve bu olumsuz etkileri araca fayda sağlayabilecek yeni bir karbon fiber spoyler modeli geliştirilmiştir.

3.1.1. Mevcut Spoylerin Tarama ve Tersine Mühendislik Çalışmaları

3.1.1.1. FARO® Design ScanArm® Model Tarama

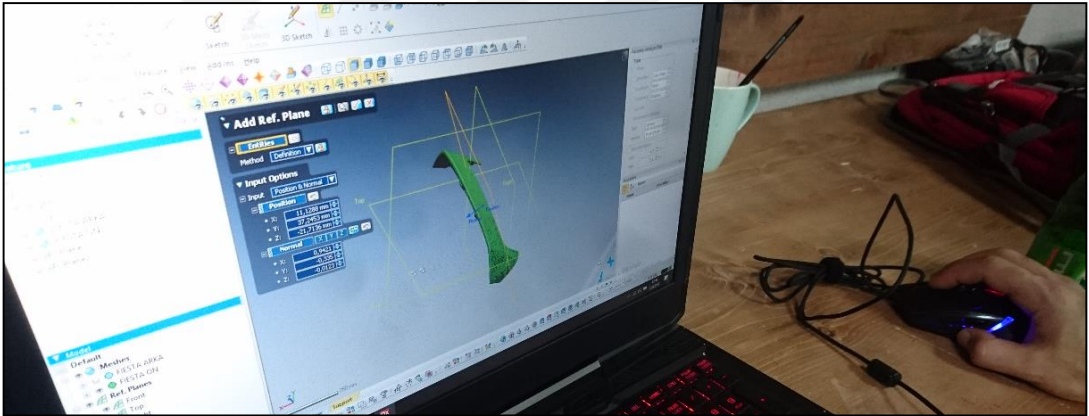
FARO® Design ScanArm®, FAROBlu™ teknolojisi ile sprey veya işaretlemelere gerek kalmadan en karmaşık yapıdaki cisimleri mükemmel bir şekilde tarama yapabilen yüksek çözünürlüklü nokta bulut veri tarama cihazıdır [22].

Araç üzerinden mevcut spoyler modeli FARO® Design ScanArm® ile taranmıştır. Spoyler modelinin araç gövde bağlantı parçası ve dış stil yüzeyi tarama çalışmaları iki

aşamada taranmış ve iki data Geomagic X Design tersine mühendislik programı ile pozisyonlanarak birleştirilmiştir (Şekil 3.1 ve 3.2).



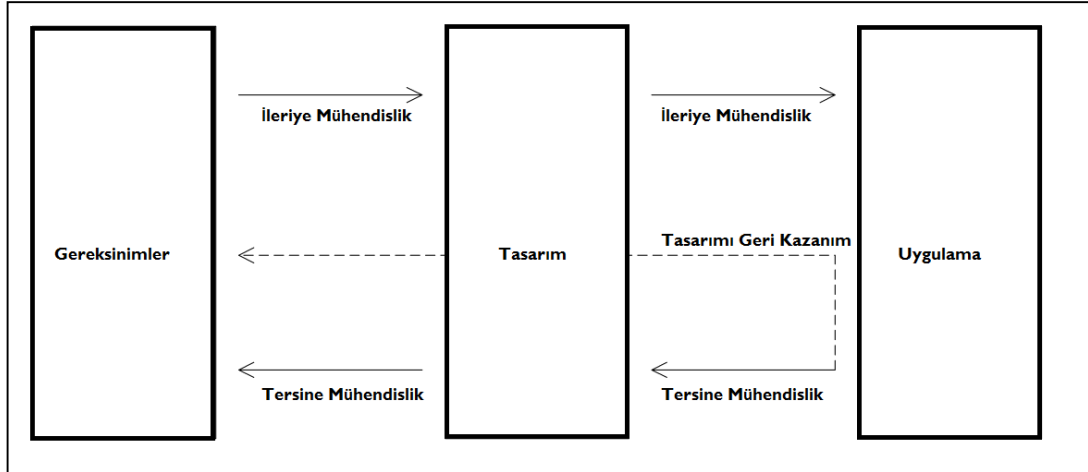
Şekil 3.1. FARO® Design ScanArm® ile mevcut spoilerin taranması.



Şekil 3.2. Spoiler modelinin nokta bulut kümesi.

3.1.1.2. Tersine Mühendislik İle CAD Data Tasarımı

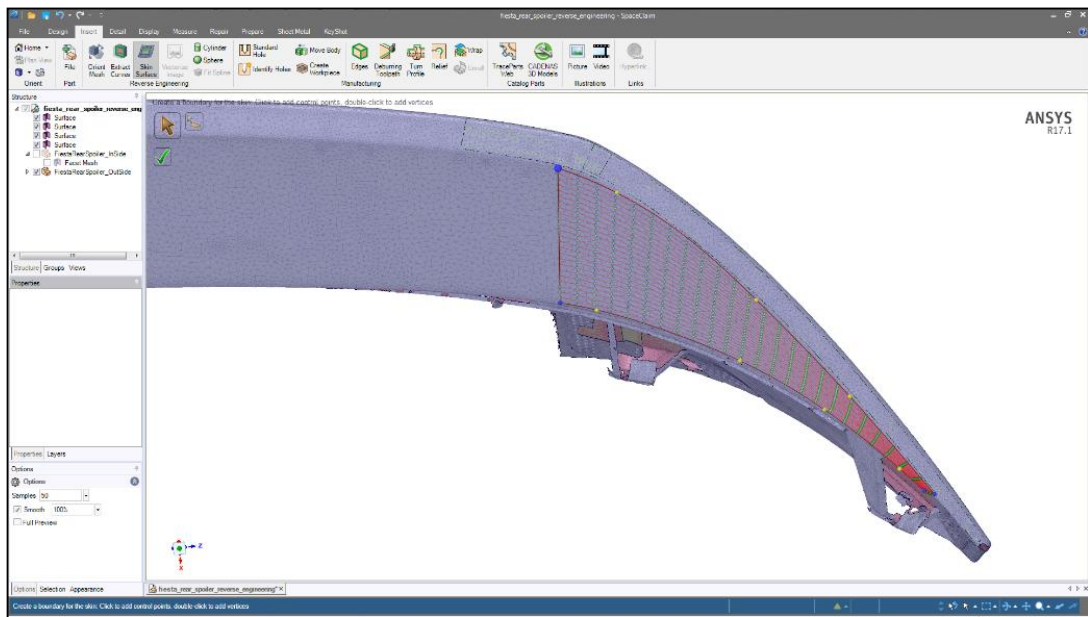
Yeniden yapılanma ve tersine mühendislik genellikle aynı bağlamda belirtilir. Tersine mühendislikte uygulanan terimleri ve tanımları anlamak için, gereksinimler, tasarım ve uygulama olarak üç basit aşamadan oluşan bir ürün yaşam döngüsü modeli tanımlanabilir (Şekil 3.3). Bu model ile yazılım tersine mühendisliği ve ilgili terimleri açıklanabilir [23].



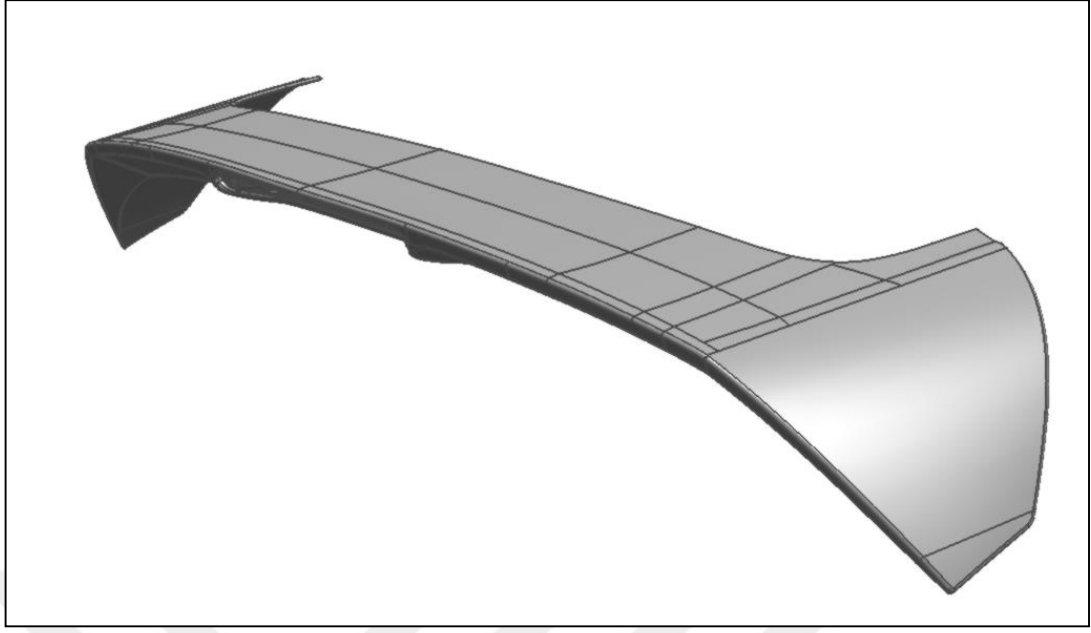
Şekil 3.3. Ürün yaşam döngüsü modeli ile ilişkili mühendislik ve ilgili işlemleri tersine çevirme aşamaları [23].

SpaceClaim, tersine mühendislik için mükemmel olan çalışma araçları sunan, tarama dataları ile solid modelleri rahatlıkla birbiriyle ilişkilendirebilen aynı zamanda hızlı bir şekilde kötü taranmış dataları onarabilen bir çözüm programıdır [24].

Tarama sonucu elde edilen nokta bulut kümesi şeklindeki .stl data ANSYS Space Claim programı ile C-Class CAD data olarak yeniden modellenmiştir (Şekil 3.4). Modelin A-Class seviyesinde yüzey çalışmaları CATIA V5-6R2015 ile yapılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Spoiler modelinin yüzey örme işlemleri.



Şekil 3.5. Mevcut spoyler A-Class CAD modeli.

3.1.2. 2D Spoyler Kesit Profili Seçimi

Toplam basınç, tüm yüzeye basınç entegrasyonu ile kolayca elde edilebilir. Aerodinamik kuvvetin büyüklüğü, konumu ve yönü, hava akımı geometrisinin, spoyler profil kesitine göre sapma açısı, akış özelliği ve hava hızı ile ilişkilidir. En iyi aerodinamik sonuçları alabilmek için, spoyler profil kesiti minimum sürüklenme katsayısı (C_D) ile tasarlanmalıdır. Bu nedenle, spoyler profili geliştirmede en güvenilir kaynaklardan ve yaygın olarak kullanılan veri tabanlarından biri NACA profil kesitleridir.

NACA dört haneli airfoil şekilleri, bir araba spoylerinin tasarımı için yaygın olarak kullanılan standarttır. Dört basamaklı bir NACA kanat üzerinde ilk rakam, Spoyler eksenininin, maksimum kesit boyutuna yüzdesini simgelemektedir (kanat profili uzunluğu), ikinci rakam eksen uzunluğunun onda birinde maksimum eğim açısının konumunu temsil etmektedir. Son iki basamak, maksimum kalınlığı eksen uzunluğuna olan yüzde olarak belirtmektedir; ancak ilk basamaktaki sıfır, kanadın kesitte simetrik olduğu anlamına gelir [25].

Spoiler tasarımı için gerekli profil kesitleri daha önce Bölüm 2’de “Spoiler Kesit Tipleri” konusunda verilen NACA airfoil kütüphanesinden, spoiler tiplerinde en çok kullanılan üç farklı kesit belirlenmiştir:

1. Alternatif #1 NACA 2415 airfoil kesiti,
2. Alternatif #2 NACA 4412 airfoil kesiti,
3. Alternatif #3 NACA 6409 %9 airfoil kesiti.

Kesitlerin oluşturacağı aerodinamik etki için hesaplamalar yapılmıştır. 20°C 1 atm basınçta havanın viskozite değeri (μ) 1.8×10^{-5} m²/s olarak Çizelge 2.1 de verilmişti. Burada ihtiyacımız olan Reynolds sayısını hesaplamak için:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

$$\rho = \text{havanın özkütlesi} = 1.204 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \text{hız} = 40 \text{ m/s}$$

$$L = \text{profil kesit uzunluğu} = 0.15 \text{ m}$$

$$\mu = \text{kinematik viskozite} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ ise}$$

(3.1)

Bu değerler yerlerine yazıldığında Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{1.204 \times 40 \times 0.15}{1.8 \times 10^{-5}}$$

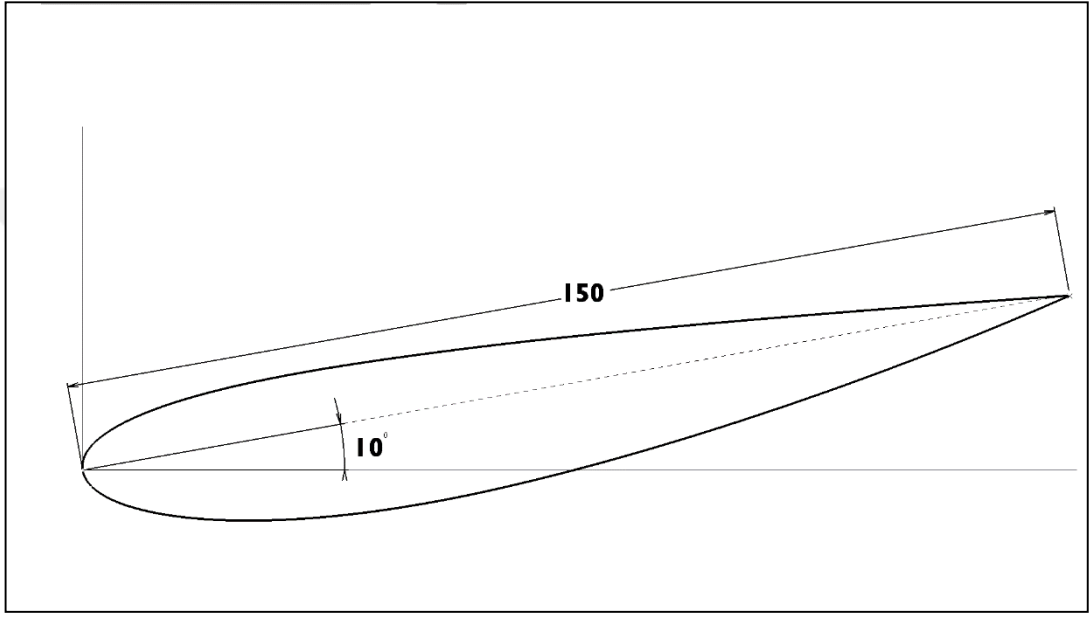
(3.2)

$$Re = 401333$$

Hesaplanan Reynolds değeri, Alternatif #1, #2 ve #3 NACA airfoil kesitlerinin kutup değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. NACA airfoil kütüphanesinden profil kesitlerinin seçimi, Reynolds sayısının yüzeye etki edecek gerçek değerinin bilinmesi ile bulunmaktadır. Reynolds değeri için NACA airfoil kütüphanesinden seçilen profil tiplerine ait; 0-50000, 50000-100000, 100000-200000, 200000-500000 ve 500000-100000 aralıkları arasında olmak üzere 5 farklı davranış söz konusudur.

3.1.2.1. Alternatif #1 NACA 2415 kesiti (n2415-il)

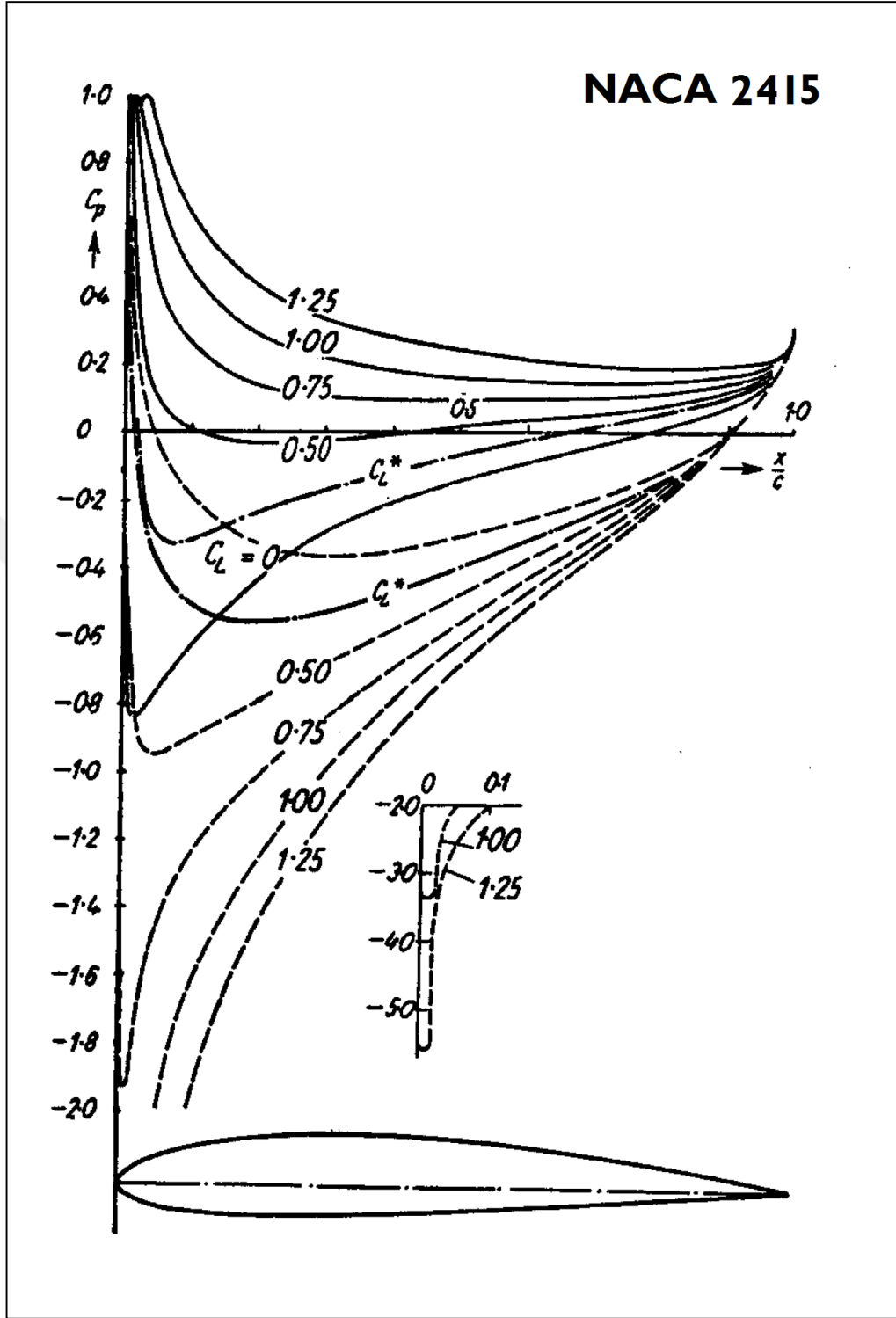
The NACA 2415 (n2415-il) airfoil kesiti (Şekil 3.6), son iki basamağında verildiği gibi %15 kalınlık-maksimum uzunluk oranına sahip, maksimum eğimin uzunluk oranı ise %2 olan bir airfoil profil kesitidir. Çizelge 3.1’de airfoil kesiti özellikleri ve Şekil 3.7’de basınç dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 3.6. NACA 2415 airfoil kesiti.

Çizelge 3.1. NACA 2415 airfoil kesiti.

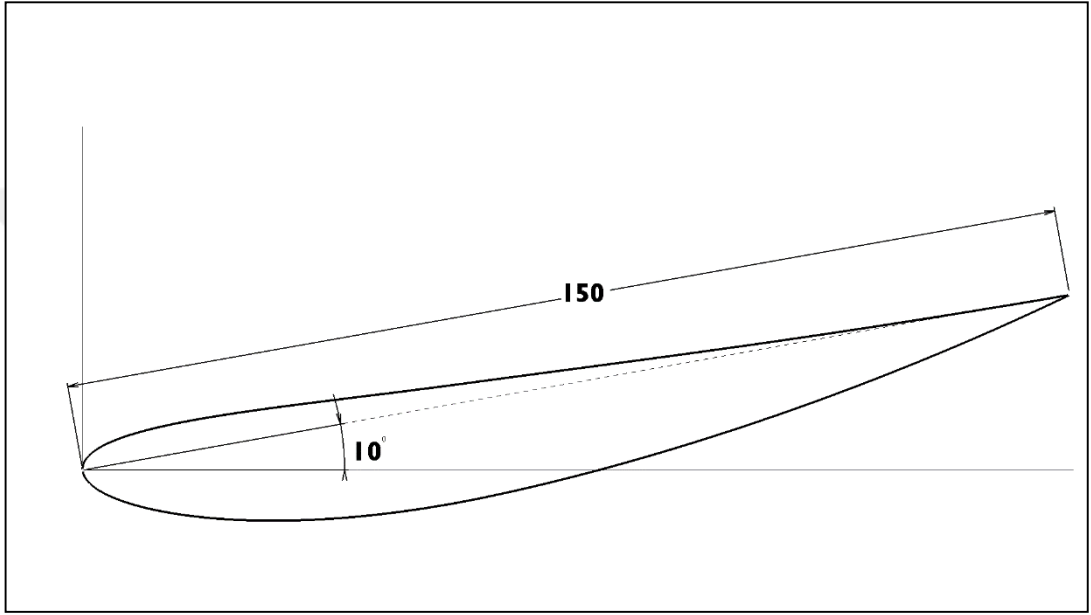
(n2415-il) NACA2415	Kesit özellikleri
Kesit uzunluğu	150mm
Maksimum kalınlık	15% at 29.5% chord.
Maksimum eğim	2% at 39.6% chord



Şekil 3.7. NACA 2415 basınç dağılımı [18].

3.1.2.2. Alternatif #2 NACA 4412 kesiti (naca4412-il)

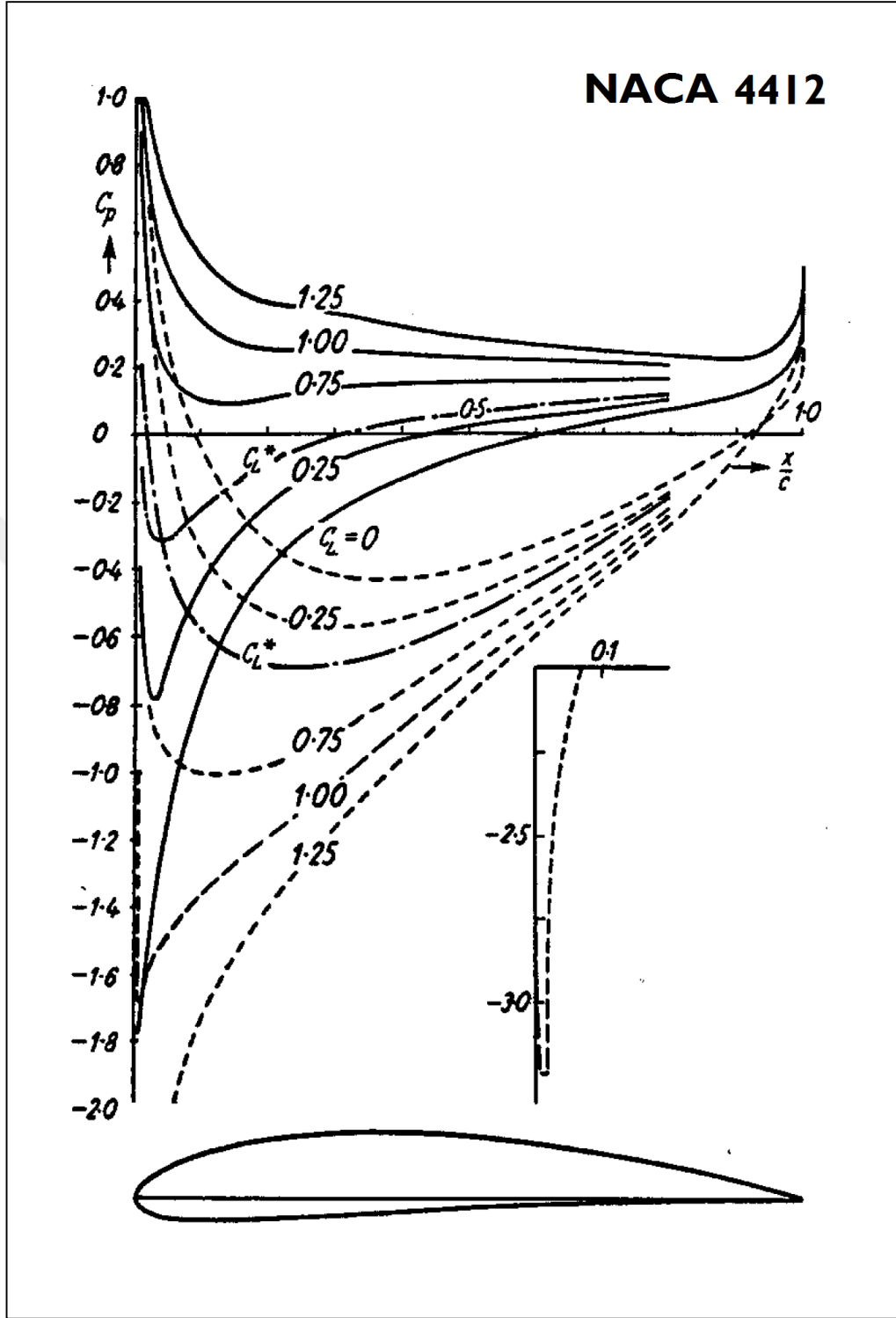
NACA 4412 (naca4412-il) airfoil kesiti (Şekil 3.8), son iki basamağında verildiği gibi %12 kalınlık-maksimum uzunluk oranına sahip, maksimum eğimin uzunluk oranı ise %4 olan bir airfoil profil kesitidir. Çizelge 3.2’de airfoil kesiti özellikleri ve Şekil 3.9’de basınç dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 3.8. NACA 4412 airfoil kesiti.

Çizelge 3.2. NACA 4412 airfoil kesiti.

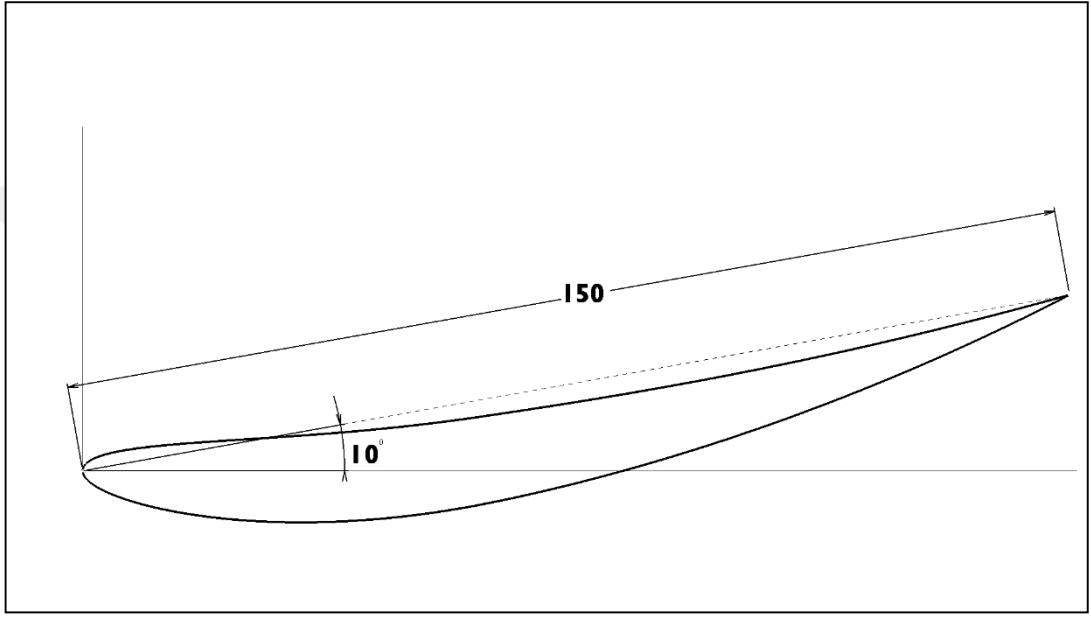
(n6409-il) NACA6409 9%	Kesit özellikleri
Kesit uzunluğu	150mm
Maksimum kalınlık	12% at 30% chord.
Maksimum eğim	4% at 40% chord



Şekil 3.9. NACA 4412 basınç dağılımı [18].

3.1.2.3. Alternatif #3 NACA 6409 9% kesiti (n6409-il)

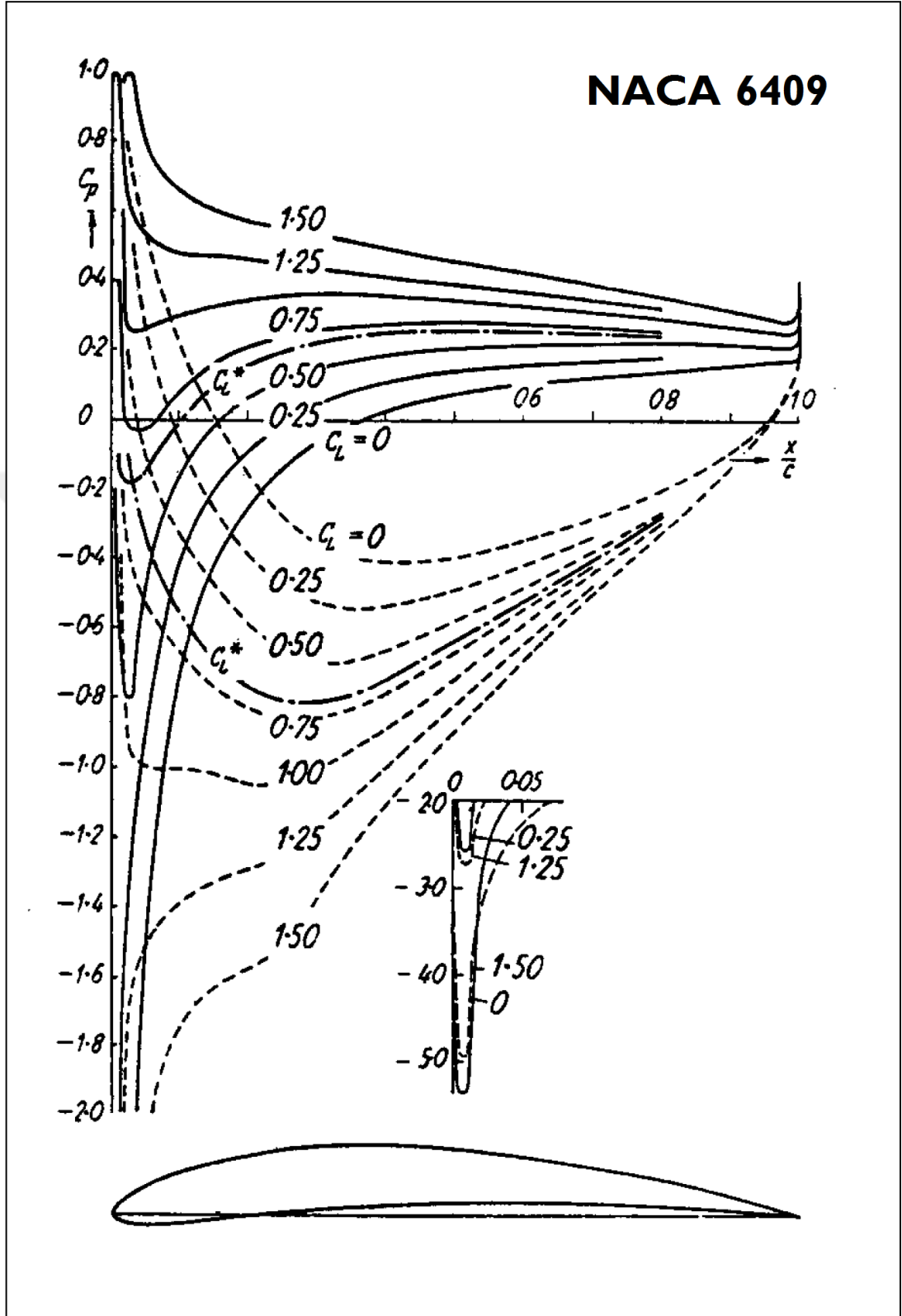
NACA 6409 %9 (n6409-il) airfoil kesiti (Şekil 3.10), son iki basamağında verildiği gibi %9 kalınlık-maksimum uzunluk oranına sahip, maksimum eğimin uzunluk oranı ise %6 olan bir airfoil profil kesitidir. Çizelge 3.3’de airfoil kesiti özellikleri ve Şekil 3.11’de basınç dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 3.10. NACA 6409 9% airfoil kesiti.

Çizelge 3.3. NACA 6409 9% airfoil kesiti.

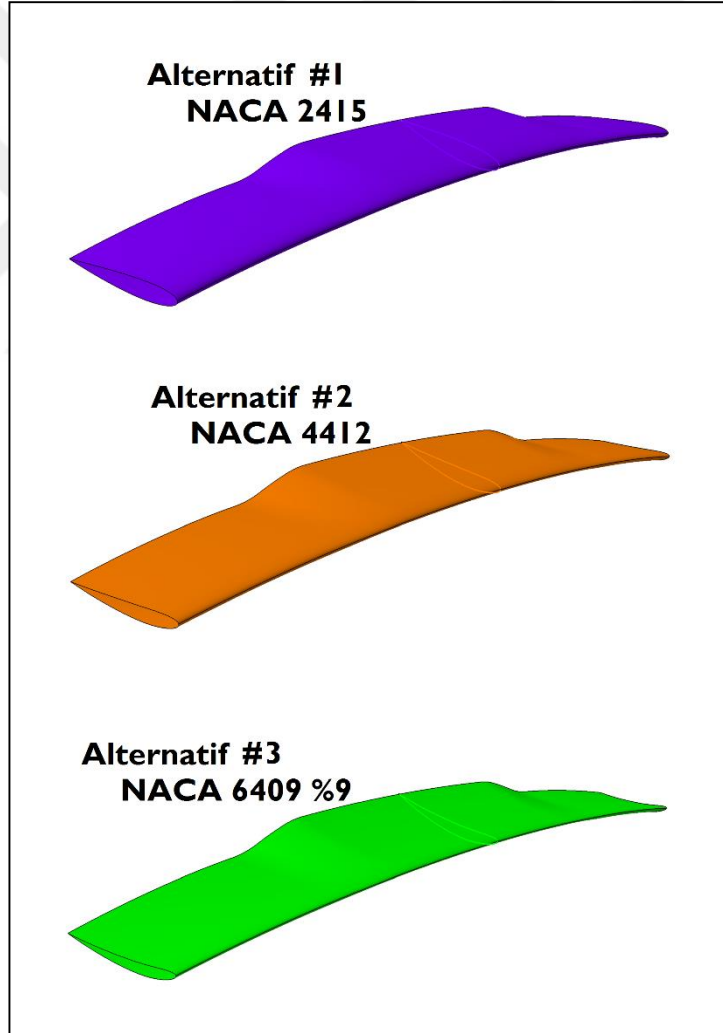
(n6409-il) NACA6409 9%	Kesit özellikleri
Kesit uzunluğu	150mm
Maksimum kalınlık	9% at 29.3% chord.
Maksimum eğim	6% at 39.6% chord



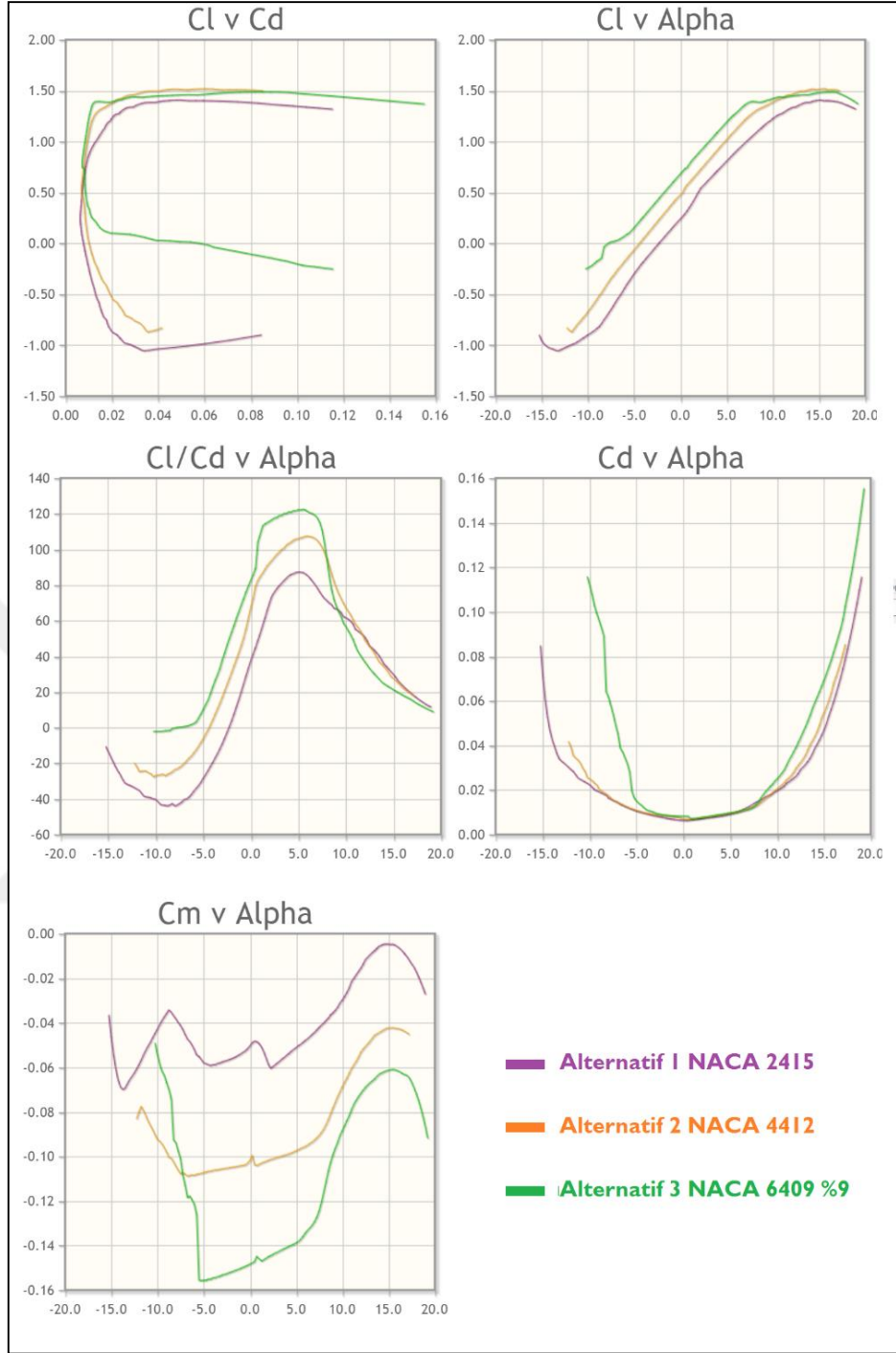
Şekil 3.11. NACA 6409 %9 basınç dağılımı [18].

3.1.2.4. Airfoil Kesitlerin Analizi

Bölüm 3.1.2’de spoyler kesiti üzerine etki edecek Reynolds sayısı 401333 olarak hesaplanmıştır. Üç alternatifli olarak belirlenilen NACA airfoil kesitleri ile tasarlanan spoyler modelleri için (Şekil 3.12) NACA airfoil kütüphanesinin 200000-500000 aralığında ki Reynolds sayısına göre yapılan analiz sonucu elde edilen grafiklerde Alternatif #3 NACA 6409 %9 modelinin en düşük sürüklenme direnç katsayısına sahip olduğunu gözlemlenmektedir. (Şekil 3.13). Bu alternatif model ile yapılan analiz sonuçları, diğer alternatiflerine göre en verimli sonucu vermesi beklenmektedir (Çizelge 3.4).



Şekil 3.12. Alternatif #1, #2, #3 için CAD modelleme ön çalışması.



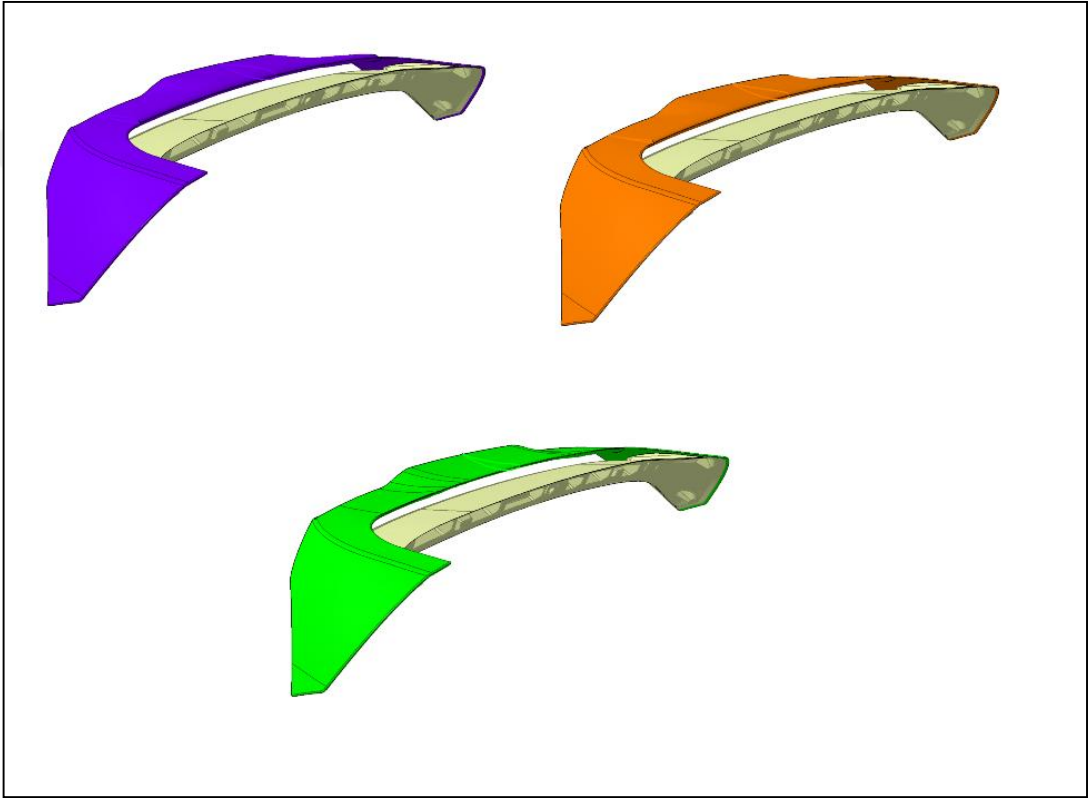
Şekil 3.13. Alternatif #1, #2, #3 C_l C_d C_m ve alpha değerleri için karşılaştırmaları.

Çizelge 3.4. Alternatif #1, #2, #3 airfoil kesit özellikleri [26].

	C_l	C_d	L/D	Lift/Drag
N 2415	1.55	0.0100	20.8	155
N 4412	1.65	0.0099	22.1	166
N 6409	1.68	0.0094	21.6	179

3.1.3. 3D CAD Spoyler Tasarımı

Tersine mühendislik yöntemi ile elde edilen CAD model üzerine Alternatif #1 NACA 2415, Alternatif #2 4412 ve Alternatif #3 6409 %9 airfoil profil kesiti uygulanmıştır. Araç üzerindeki bağlantı noktaları ve stil hatları birebir korunarak özgün bir tasarım oluşturulmuştur. 3D A-Class yeni spoyler geometrisi “CATIA V5-6R2015” bilgisayar destekli tasarım programında yapılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Alternatif #1, #2, #3 3D CAD spoyler modelleri.

3.2. SPOYLER İÇİN MALZEME VE ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİ

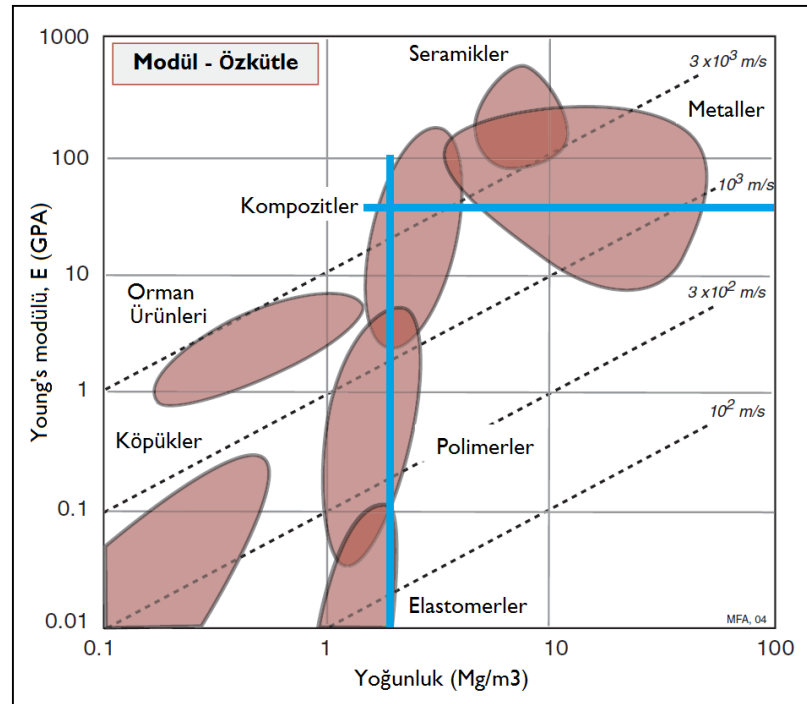
Uçak mühendisleri, otomobil üreticileri ve spor malzemeleri tasarımcıları sert, güçlü ve hafif malzemeler istemektedirler. Bunu en iyi başaran tek malzeme seçenekleri hafif alaşım olan magnezyum, alüminyum ve titanyum esaslı alaşımlardır. Yapılan birçok araştırma bu özellikleri geliştirmeyi hedeflemektedir. Polimerler malzemelerin yoğunluğu çok daha düşüktür. Seramikler ise çok daha serttir ve özel olarak küçük

parçacıklar veya ince lifler şeklinde, daha güçlüdür. Bu özellikler, genellikle partiküllü ve elyaflı kompozitler olarak adlandırılan hibrit ailesinden temin edilir.

Otomobil endüstrisinde üretim maliyetleri çok pahalıdır, bu da kompozitli bir spoyler gibi bir parçanın üretilmesinin maliyetli olabileceğini ima eder; Bununla birlikte, otomobil pazarındaki çoğu müşterinin maliyet duyarlılığı vardır. Bu nedenle, en uygun üretim yöntemleri, kaliteli ve fonksiyonel kompozit malzemelerden uygun fiyatlı spoyleri üretmek için kullanılır.

Maliyeti etkileyen faktörler hammaddeler, süreç çevrim süresi ve montaj kısmıdır. Ürünün maliyeti de üretim hacmine bağlı. Dolayısıyla maliyet tahmini, bir ürünün düşük maliyetle imalinde çok önemli bir unsurdur. Bu, ürünün metal teknolojileri gibi gelişmiş geleneksel malzemelerle rekabet etmesi gereken kompozit malzemeler alanında olduğu gibi pazar üzerinde de önemli etkiye sahiptir.

Spoyler üretiminde kullanılacak malzeme olarak özkütlesi otomobilin mevcut spoylerinin özkütlesine en yakın ve aynı zamanda dayanım olarak metalin gösterdiği özellikleri gösteren karbon fiber kompozit malzeme belirlenmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Spoyler tasarımında malzeme seçimi [27].

3.2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, genellikle çok farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle yapılır. İki malzeme kompozit eşsiz özellikleri vermek üzere birlikte çalışır. Bununla birlikte, kompozit malzeme bileşenleri, farklı malzemeleri çözdükleri veya birbirlerine karışmadığı için kolayca ayırt edilebilmektedir.

Dünyanın en büyük yolcu uçağı olan yeni Airbus A380, tasarımında modern kompozitler kullanılmaktadır. A380'in %20'den fazlası karbondioksitli elyaf takviyeli kompozit malzemelerden imal edilmiştir. Tasarım, cam elyaf takviyeli alüminyumun ilk büyük ölçekli kullanımı, geleneksel gövde alüminyumundan %25 daha güçlü fakat %20 daha hafif olan yeni bir kompozit grubu içermektedir [28].

Havacılık ve diğer ağırlığa duyarlı uygulamalarda kullanılmak üzere çok hafif sandviç yapılara olan talep, hafif sert ve güçlü malzemelerin ve yapıların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, ağırlığın önemli olduğu ortam sıcaklığı uygulamaları için karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozit malzemeler en yüksek özgül mukavemete sahiptir ve çok hafif sandviç yapılar halinde imal edildiğinde en iyi mekanik özelliklere sahip görünmektedir. Bu yeni CFRP hücreli malzemeler, yapısal tasarımcılara mevcut malzeme özellik alanını genişletmeyi taahhüt etmektedir [29].

3.2.2. Karbon Fiberler

Karbon fiber, ağırlıkça en az % 92 karbon ihtiva eden bir elyaf olarak tanımlanırken, ağırlıkça en az % 99 karbon içeren elyaf genellikle bir grafit elyafı olarak adlandırılır. Karbon fiberleri genellikle oksitleyici etkenlerin bulunmadığı ortamlarda mükemmel gerilme özellikleri, düşük yoğunlukları, yüksek termal ve kimyasal kararlılıkları, iyi termal ve elektriksel iletkenlikleri ve mükemmel sürünme direncine sahiptir. Dokuma kumaşlar, prepregler, kesintisiz elyaf / süngerler ve doğranmış elyaflar şeklinde kompozitlerde yaygın şekilde kullanılmaktadırlar [30].

Tahmini küresel karbon elyafı tüketimi Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Gelecekte hem üretim hem de tüketimde istikrarlı bir artış öngörülebilir. Fakat, yüksek fiber maliyeti ve yüksek hızlı kompozit imalat tekniklerine sahip olmaması nedeniyle, otomotiv endüstrisinde karbon elyafın yaygın bir şekilde kullanılamamaktadır [30].

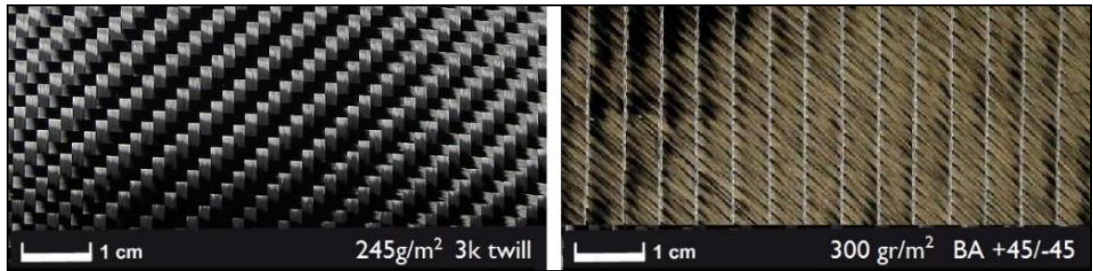
Çizelge 3.5. Tahmini karbon fiber tüketimleri [30].

	1999 (ton)	2004 (ton)	2006 (ton)	2008 (ton)	2010 (ton)
Havacılık	4000	5600	6500	7500	9800
Endüstriyel	8100	11400	12800	15600	17500
Spor Ürünleri	4500	4900	5900	6700	6900
Toplam	16600	21900	25200	29800	34200

Bu çalışma da seçilen karbon fiber kumaş malzemesi 245 gr/m² 3k twill ve 380 gr/m² BA +45/-45 karbon fiber (Şekil 3.16) kumaş olarak belirlenmiştir. Bu kumaşlara ait teknik özellikler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. 245 gr/m² 3k twill ve 380 gr/m² BA +45/-45 karbon fiber kumaş mekanik özellikleri [31].

Elyaf çapı	5-8 µm
Yoğunluk	1,8 g/cm ³
Çekme Dayanımı	3450 4850 MPa
Elastisite modulu	220-240 GPa
Kopmadaki birim boy değişimi	%1,6-2,2
Termal iletkenlik	20 W/mK
Termal genleşme katsayısı	10 ⁻⁶ /K
Spesifik elektriksel direnç	1650 µΩ



Şekil 3.16. 245 gr/m² 3k twill ve 380 gr/m² BA +45/-45 karbon fiber.

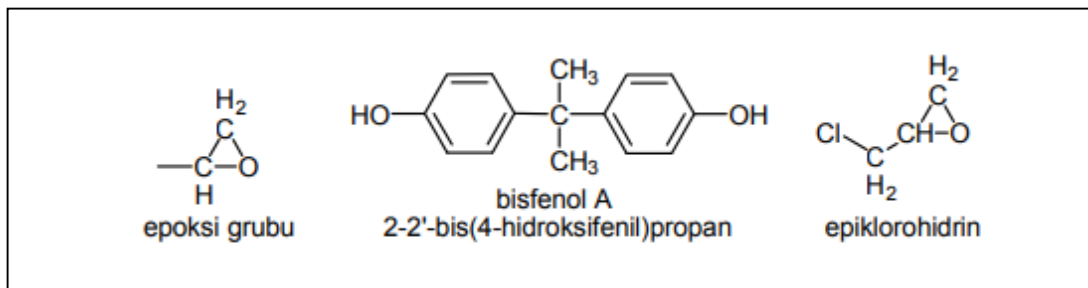
3.2.3. Epoksi Reçinler

Sertleşmeyen epoksi reçineler suda çözünmeyen, şeffaf plastiklerdir ve saf ve kirlenmemiş halde belirsiz raf ömrüne sahiptirler. Epoksi reçinelerinin dereceleri genellikle viskozite ve epoksit eşdeğeri ile belirtilir. Bir epoksi sisteminin viskozitesi, seyrelticiler ilave edilerek azaltılabilir, ancak seyrelticilerin kullanımı, çoğu durumda, sertleştirilmiş sistemin fiziksel özelliklerini düşürdükleri için asgari düzeyde tutulmalıdır.

Epoksi reçineler, onları kararlı bir katı kütleye dönüştürmek için harici bir etki gerektiren bir termoset malzemesi sınıfına aittir. Burada ilgilenen sistemler genellikle iki bileşen halinde reçine ve sertleştirici madde ile donatılmıştır. Kütleme bileşikleri reçineye eklendiğinde bir aktarma reaksiyonu başlamakta ve bir katı haline dönüşmektedir. Çoğu zaman, iyileştirilmiş sistemin fiziksel özelliklerini değiştirmek için başka malzemeler eklenmektedir.

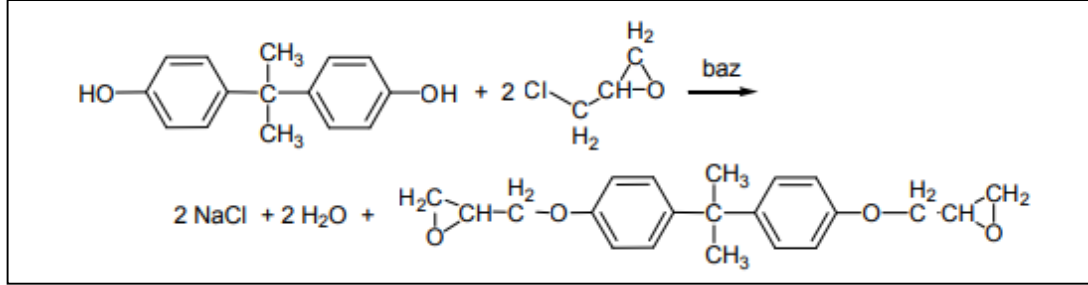
Termoplastik epoksi reçineler, termoplastik malzemelerin aksine, sertleştikten sonra kalıcı olarak sertleşir ve yüksek sıcaklıklarda eriyememektedir. Sertleşmiş epoksi reçineleri, düşük kimyasal reaktivite, dikkat çekici yapışma özellikleri ve yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. 30,000 psi'lik maksimum basınç dayanımına, 18,000 psi'ye kadar eğilme mukavemetlerine ve 8,000 ila 12,000 psi arasında değişen çekme mukavemetlerine sahip olabilmektedir [32].

Bifesanol A bazlı epoksi reçineler bileşimlerinde epiklorohidrin ve bifesanol A içeren ve en çok üretilen epoksi reçine çeşididir (Şekil 3.17).

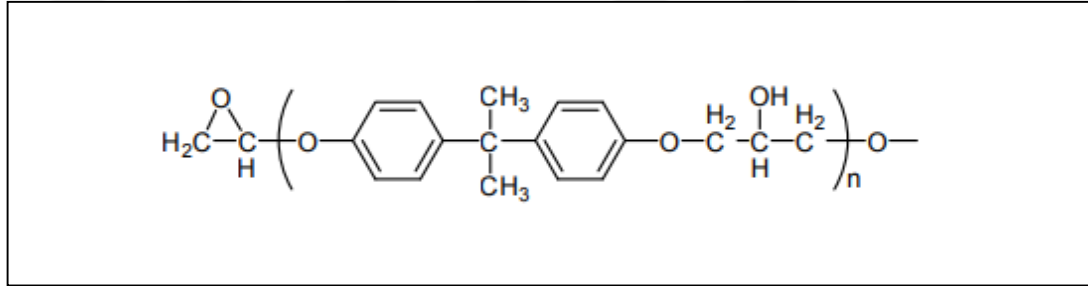


Şekil 3.17. Epoksi reçinelerin bileşen yapısı [33].

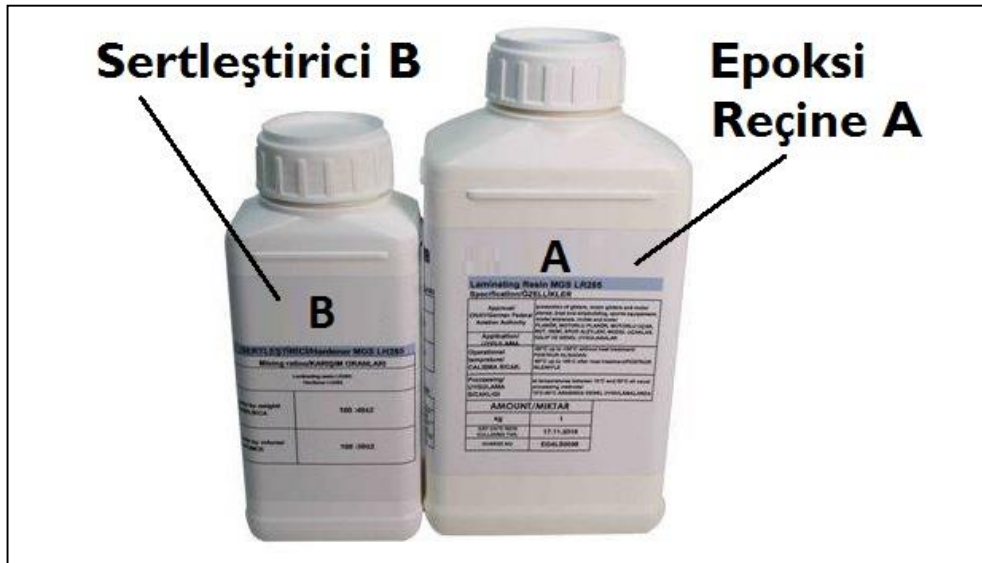
Yaklaşık 60°C'lik steril bir ortamda NaOH ile bifensanol A-epiklorohidrin reçinesi tepkimeye sokulur ve ekzotermik reaksiyon oluşturularak soğutmaya bırakılır (Şekil 3.18 ve Şekil 3.19) [33].



Şekil 3.18. Epoksi reçinelerin bileşenlerin uygulanışı [33].



Şekil 3.19. Epoksi reçinelerin polimerik yapısı [33].



Şekil 3.20. MGS laminasyon epoksi seti L285/H287.

Yaklaşık 25°C'lik steril bir ortamda MGS L285 Reçine Epoksi reçine A ve H287 Sertleştirici B hacimce 100mg A 40mg B karıştırılarak uygulanmaktadır (Şekil 3.20 ve Çizelge 3.7).

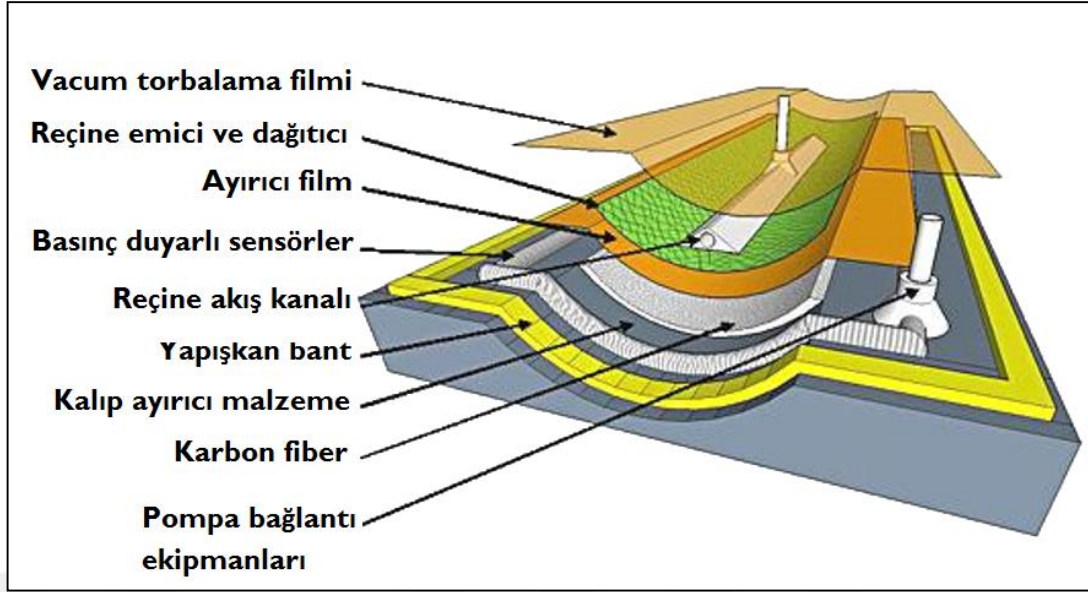
Çizelge 3.7. MGS laminasyon epoksi seti L285/H287 mekanik özellikleri [34].

Epoksi Reçine A	
Yoğunluk	1,18-1,23 g/cm ³
Viskozite	600-900 mPas
Epoksi eşdeğeri	155-170 gr/eşdeğer
Epoksi değeri	0,59-0,65 gr/eşdeğer
Refraktör indeksi	1,525-1,530
Sertleştirici B	
Yoğunluk	0,93-0,96 g/cm ³
Viskozite	80-120 mPas
Amin değeri	450-500 mgr KOH/gr
Refraktör indeksi	1,4950-1,4990

3.2.4. CFRP Malzeme Üretim Yöntemleri

CFRP kompozit parçaların üretiminde elyaf sarma, püskürtme, reçine sıkıştırma kalıplama, vakum torbalama, sıvı kalıplama, otoklav ve enjeksiyon döküm gibi birçok yöntem geliştirilmiştir [30].

Vakum torbalama yöntemi, bir kütleme işlemi sırasında bir karbon fiber kumaşları üzerine mekanik basınç oluşturmak için kullanılan bir tekniktir. Karbon fiber kumaşlara basınç uygulanması çeşitli işlevleri yerine getirir. İlk olarak, katmanlar arasındaki hava sıkışmasını giderir. İkincisi, elyaf demetleri arasında etkin kuvvet iletimi için elyaf katmanlarını sıkıştırır ve sertleşme sırasında elyaf yöneliminin kaymasını önler. Üçüncü olarak, nemi azaltır. En sonunda ve en önemlisi, vakum torbalama tekniği, kompozit parçadaki elyaf / reçine oranını optimize eder. Bu avantajlar yıllarca havacılık ve yarış endüstrilerinin karbon, aramid ve epoksi gibi gelişmiş kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini en üst düzeye çıkarmasına olanak sağlamıştır (Şekil 3.21) [35].



Şekil 3.21. Vakum torbalama yöntemi uygulama şeması [36].

3.3. SAYISAL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD)

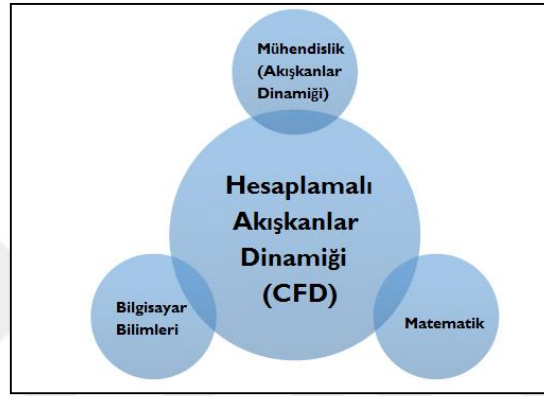
3.3.1. CFD Nedir?

Dijital bilgisayarların hızla gelişmesi ile CFD, akışkan dinamiği ve ısı transferi bilimlerindeki en ileri araştırmaların ön planda kalmaya hazırdır. Ayrıca, modern mühendislik uygulamasında pratik bir araç olarak CFD'nin ortaya çıkışı, sürekli olarak çok fazla ilgi ve dikkat çekmektedir [12].

Sayısal akışkanlar dinamiği (CFD), akışkan hareketini yönlendiren denklemlere sayısal yaklaşım sağlar. Bir akışkan probleminin analizi için CFD'nin uygulanması izlenmesi gereken belirli adımlar vardır. Önce, akışkan akışını tanımlayan matematiksel denklemler yazılır. Bunlar genellikle kısmi diferansiyel denklemler kümesidir. Bu denklemler daha sonra denklemlerin sayısal bir analogunu üretmek için ayrık hale getirilir. Alan daha sonra küçük hücrelere veya elementlere bölünür. Son olarak, bu denklemlerin çözümü için başlangıç koşulları ve özel sorunun sınır koşulları kullanılır. Çözüm yöntemi doğrudan veya iteratif olabilir. Buna ek olarak, bazı kontrol parametreleri, yöntemin yakınsaklığını, kararlılığını ve doğruluğunu kontrol etmek için kullanılır [37].

Günümüzde bu teknikler tıbbi araştırmalardan mühendisliğe kadar neredeyse tüm alanlarda bulunmaktadır. Hidrodinamikte birçok önemli husus dikkate alınır:

ANSYS Fluent yazılımı, ürün performansınızı optimize ederken daha ileri gitmenizi sağlayacak mevcut en güçlü hesaplamalı akış dinamiği (CFD) aracıdır. Fluent, geniş CFD ve çoklu fizik uygulamaları aralıklarında hızlı ve doğru sonuçlar sağlamak için iyi onaylanmış fiziksel modelleme yetenekleri içerir (Şekil 3.22) [38].



Şekil 3.22. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde yer alan farklı disiplinler.

3.3.2. CFD nin Avantajları

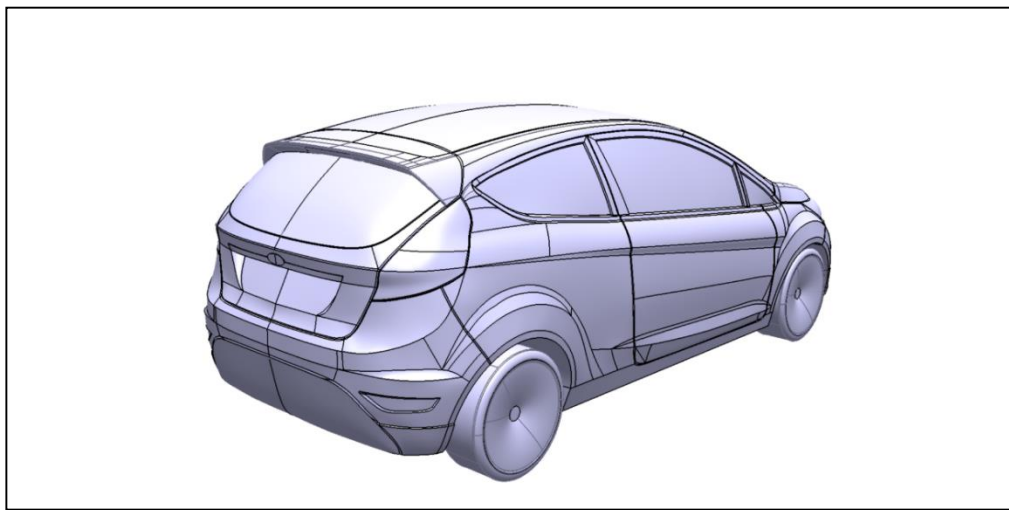
CFD uygulamalarının birçok avantajı bulunmaktadır. Hesaplamalı bilimlerin teorik gelişimi, yönetim denklemlerinin inşası ve çözümü ile bu denklemlerin çeşitli yaklaşımlarının incelenmesine odaklanmaktadır. CFD, gerçek akışkan akışlarını taklit etmek için alternatif bir maliyet etkin araç sağlayarak deneysel ve analitik yaklaşımları tamamlar. Özellikle, CFD, deneysel tabanlı yaklaşımla karşılaştırıldığında, tasarım ve üretimdeki teslim sürelerini ve maliyetlerini önemli ölçüde düşürür ve analitik yaklaşımın eksik olduğu bir dizi karmaşık akış problemini çözme olanağı sunar. CFD, deneysel olarak simüle edilemeyecek kadar büyük veya çok uzak olan nükleer kaza senaryoları veya senaryoları gibi (ör., 2004 Endonezya Tsunami) jeofizik ve biyolojik akışkan dinamiklerinde bulunan deneysel testlerde tekrarlanamayan akış koşullarını simüle edebilme kapasitesine sahiptir. Dahası, CFD, analitik ve deneysel akışkan dinamiğiyle karşılaştırıldığında oldukça detaylı, görselleştirilmiş ve kapsamlı bilgi sağlayabilir. CFD avantajlı olmasına rağmen, tasarım amaçlı bilgi toplamak için bir

yöntem olarak deneysel testlerin yerini alamaz. Birçok avantajına rağmen, araştırmacı CFD'yi uygulamak için doğabilecek kısıtlamaları dikkate almalıdır. Sayısal hatalar, hesaplamalar sırasında ortaya çıkar; Bu nedenle, hesaplanan sonuçlar ve gerçeklik arasında farklılıklar olacaktır [12].

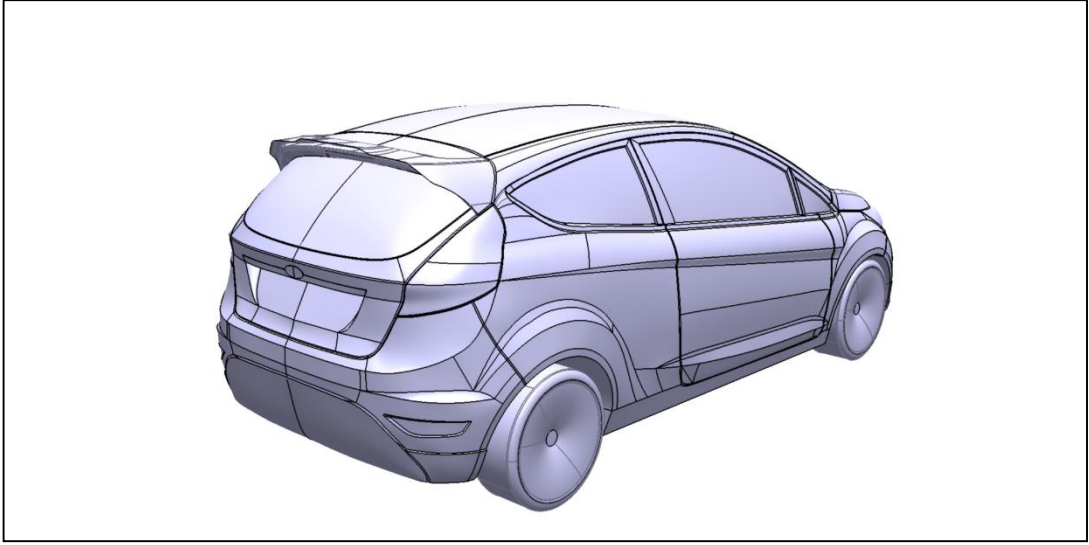
1. Yeni tasarımlarda büyük bir zaman indirimi ve maliyet düşüşü,
2. Deneyleri çok zor ve tehlikeli olan farklı problemleri analiz etme olanağı vardır.
3. CFD teknikleri, sınırları aşan koşullarda çalışma sistemi kapasitesini sunmaktadır.
4. Ayrıntı seviyesi pratik olarak sınırsızdır.
5. Ürün katma değer kazanır. Farklı grafik üretme imkanı, sonucun özelliklerini anlamak için izin verir. Bu, yeni bir ürün satın almayı önerir.

3.3.3. Araç ve Spoiler Modelin CFD Ortamına Hazırlanması

Mevcut ve üç alternatifli durumu otomobilin üzerinde simüle edebilmek otomobilin 3D modeli CATIA V5-6R2015 bilgisayar destekli tasarım programı ile oluşturulmuş ve farklı durumlar için araç üzerine yerleştirilmiş mevcut spoiler ve alternatif 1#, 2# ve 3# modelleri yerleştirilmiştir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).



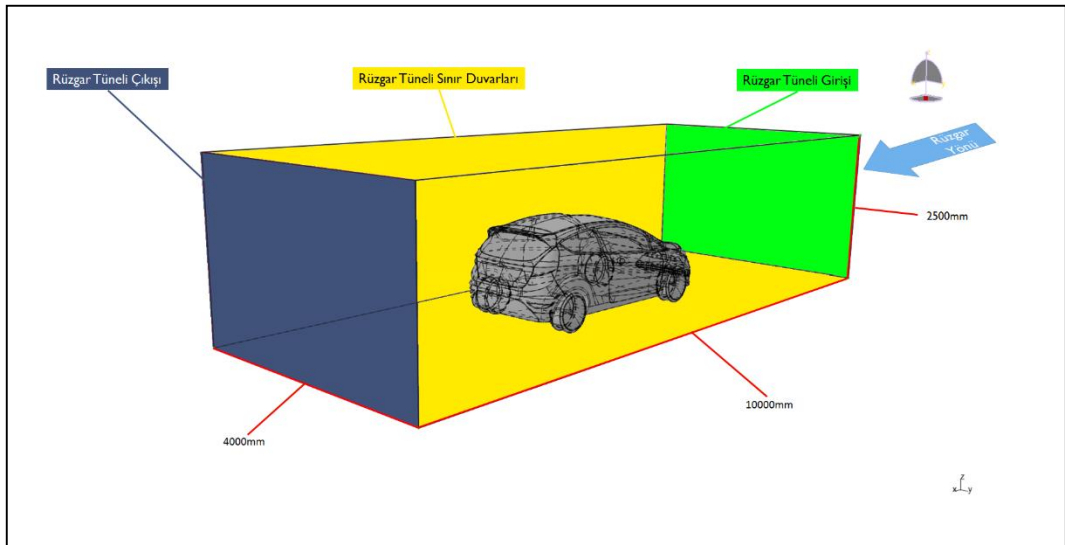
Şekil 3.23. Mevcut spoiler için araç simulasyon modeli.



Şekil 3.24. Alternatif #1, #2, #3 için araç simülasyon modelleri.

3.3.4. Sanal Rüzgar Tüneli ve Araç Pozisyonu

Sanal rüzgar tüneli 10000mm uzunluk, 4000mm genişlik ve 2500mm yüksek olarak simülasyon analizini gerçek sonuçlara uyarlayabilmek için tasarlanmıştır. Simülasyon modelleri rüzgar tünelinin ortasına yerleştirilmiştir. İlk simülasyon modeli için mevcut araç spoiler modeli ve test aracı rüzgar tüneline konfigüre edilmiş, ikinci simülasyon modelinde ise yeni spoiler modeli ve test aracı rüzgar tüneline konfigüre edilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Sanal rüzgar tüneli ve araç pozisyonu.

3.3.5. Mesh Oluşturma

Mesh oluşturma, alan geometrisinin tanımlanmasından sonra ön işleme aşamasında en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. CFD, oluşturulan etki alanı geometrisindeki akış fiziğini çözmek için alanın birkaç daha küçük, örtüşmeyen alt alanlara bölünmesini gerektirir. Bu hücrelerin her birinde tanımlanan temel akışkan akışları, hız, basınç, sıcaklık ve ilgili diğer aktarım parametreleri gibi akış özelliklerinin ayrı değerlerinin belirlenmesi için genellikle sayısal olarak çözülür. CFD çözümünün doğruluğu, hesaplama alanı içindeki örgü hücrelerinin sayısına göre yönetilir. Genel olarak, çok sayıda hücrenin sağlanması doğru bir çözümün elde edilmesine yol açar. Bununla birlikte, bir çözümün doğruluğu, hesaplama maliyetleri ve hesaplama devri zamanlarının egemen olduğu dayatılmış sınırlamalara bağlıdır.

Akışkan analizlerinde skewness (çarpıklık) değeri, mesh yapısı için birincil nitelik ölçütlerinden biridir. Skewness tanımına göre; 0 değeri bir en iyi eşkenar hücreyi ve 1 değeri tamamen bozulmuş olmuş bir hücreyi (en kötü) göstermektedir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Skewness değerlerine bağlı hücre kalitesi.

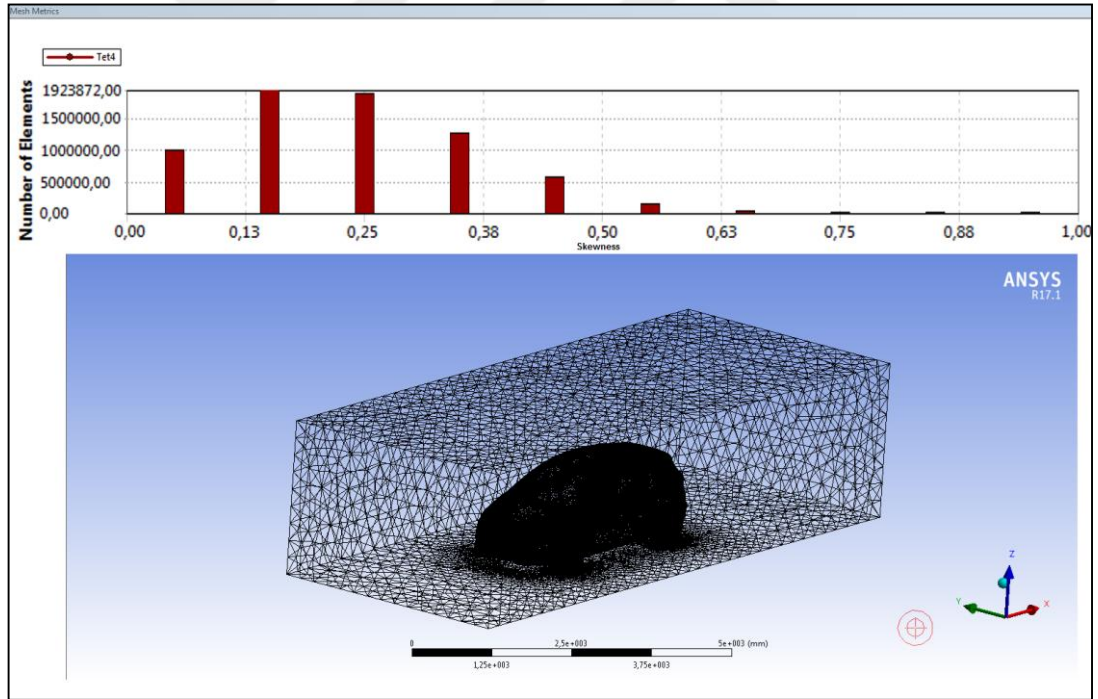
Skewness değeri	Hücre kalitesi
1	bozulmuş
0.9 — <1	kötü (sliver)
0.75 — 0.9	zayıf fakat kabul edilebilir
0.5 — 0.75	orta
0.25 — 0.5	iyi
>0 — 0.25	mükemmel
0	en iyi eşkenar

Üçgen şekilli mesh yapısı, değişen eğrilere ve eğilmelere olan yakınlığı nedeniyle kullanılmıştır. Bu mesh yapısı, otomobil ve uzay cisimciklerindeki karmaşık yapılarla kolayca uyum sağlayabilir. İyi bir analiz sonucu elde edebilmek için Mesh oluşturmada için fine mesh, element sizing ve triangular mesh ayarları yapılmıştır. (Çizelge 3.9) ve ANSYS Meshing®, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da görüldüğü gibi mesh yapısı oluşturmuştur.

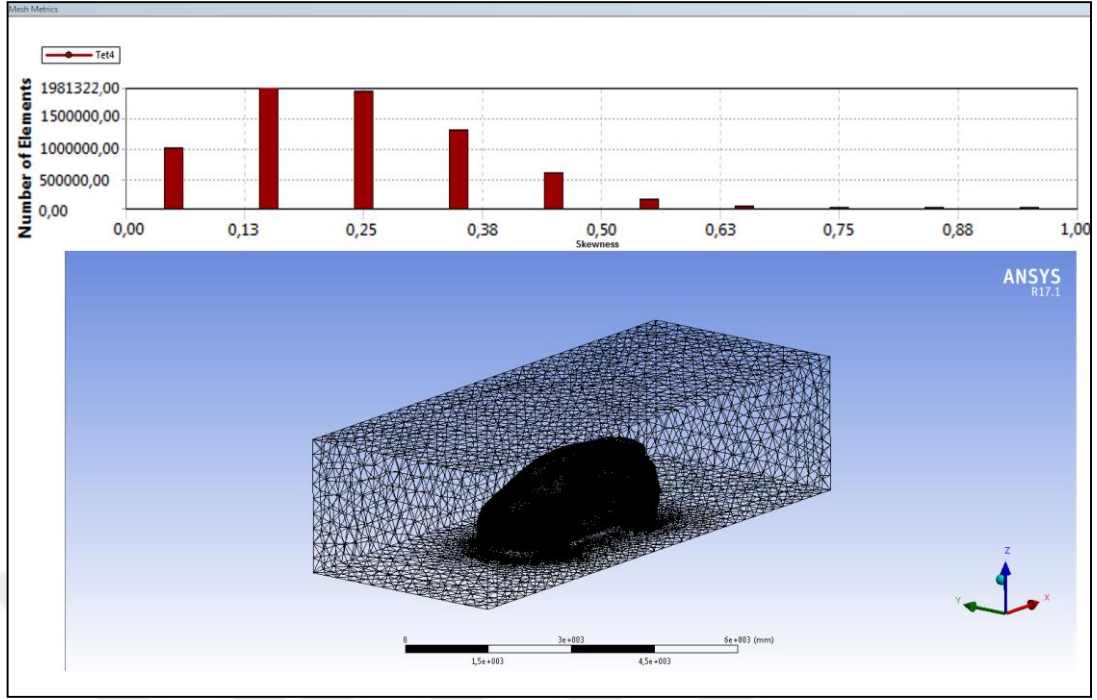
Çizelge 3.9. Analiz modelleri için mesh özellikleri.

	Mevcut Spoiler	Alternatif #1 NACA 2415	Alternatif #2 NACA 4412	Alternatif #3 NACA 6409
Nodes	1257055	1296347	1296621	1296158
Elements	6719631	6924244	6925134	6924718
Mesh Metric	Skewness	Skewness	Skewness	Skewness
Min	1,4771e-006	4,1128e-006	4,0965-006	4,1031e-006
Max	0,99	0,99	0,99	0,99
Average	0,23652	0,23681	0,23677	0,23673
Deviation	0,12654	0,12654	0,12654	0,12654

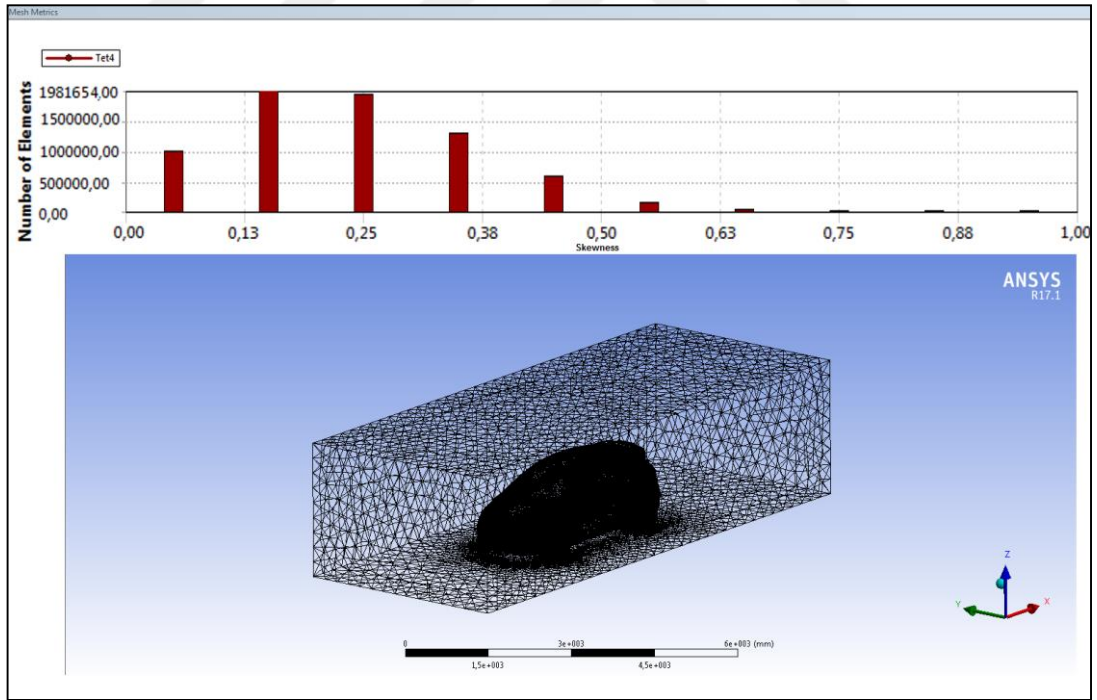
Deviation (sapma) değeri, skewness değerinin sapma oranını ifade etmektedir. Karmaşık geometilere sahip yüzeyleri hücresel mesh yapısı oluşturulmasında kullanılan bir yöntemdir.



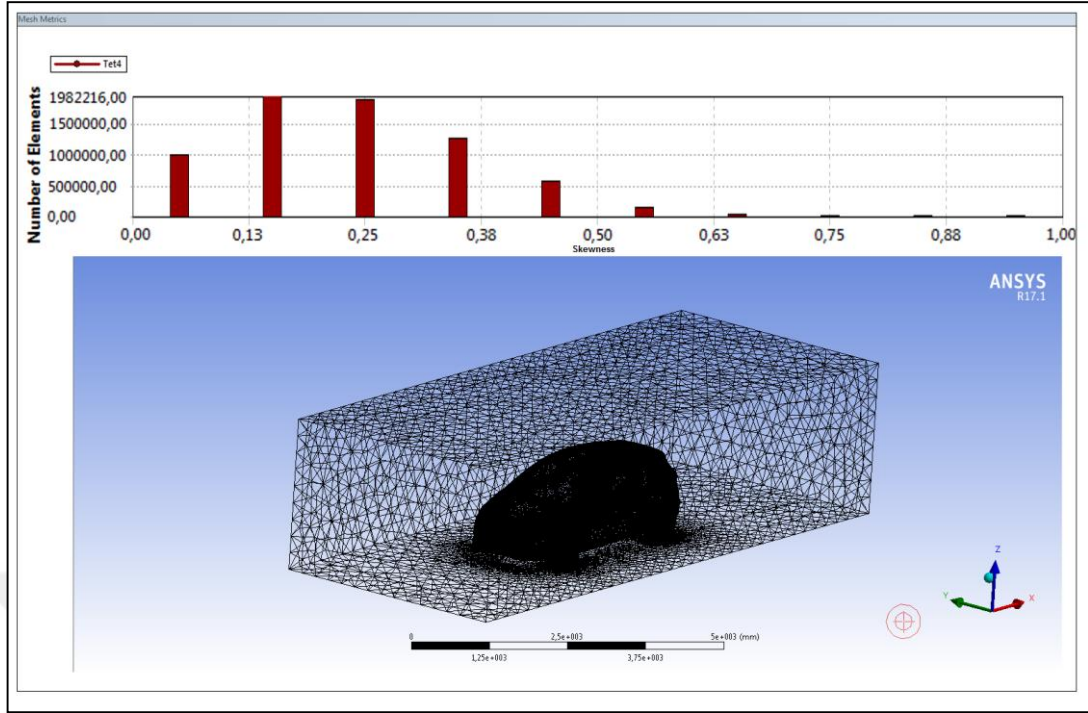
Şekil 3.26. Mevcut spoiler analiz modeli mesh özellikleri.



Şekil 3.27. Alternatif #1 NACA 2415 analiz modeli mesh özellikleri.



Şekil 3.28. Alternatif #2 NACA 4412 analiz modeli mesh özellikleri.



Şekil 3.29. Alternatif #3 NACA 6409 %9 analiz modeli mesh özellikleri.

3.3.6. CFD Doğrulama Süreçleri

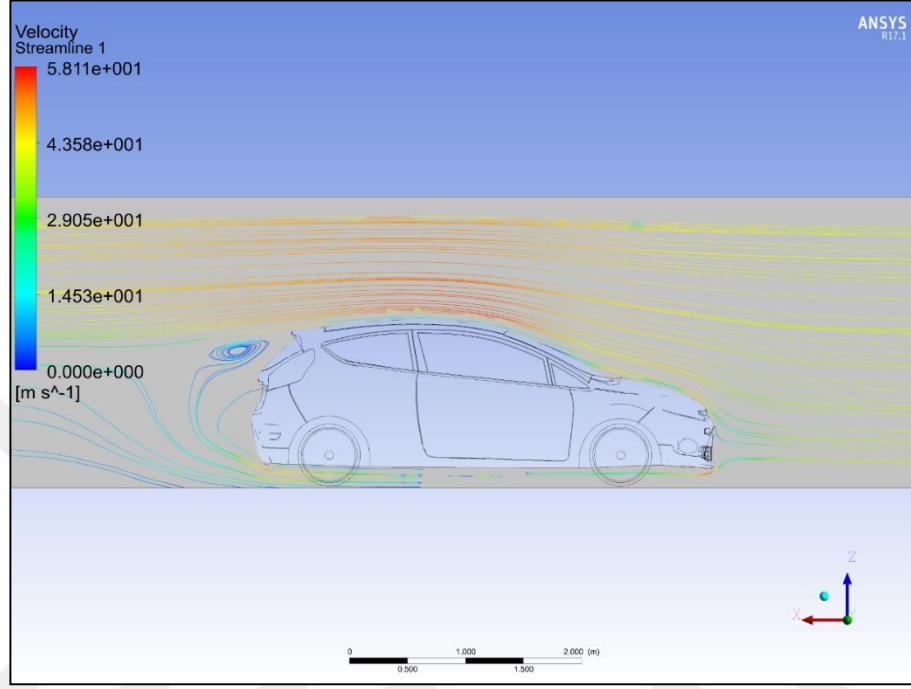
CFD doğrulama sonucu elde edebilmek ve simülasyon ortamını gerçeğe uyarlamak için yapılması gereken konfigürasyon teknikleri çok önemlidir. Simülasyonlarda çözücü tipi basınç bazlı, değişken hız formülasyonu sabit süre ve yer çekimi ivmesi - 9.81m/s^2 olarak belirlendi. Akışkan modeli k-epsilon gerçekleştirilebilir olarak seçildi. Hava yoğunluğu (ρ) 1.175kg/m^3 ve viskozitesi (μ) $1.7894\text{e-}05$ olarak ANSYS ön tanımlarında bırakıldı. Serbest akım rüzgar tünelinin girişinden X yönünde 40m/s (144km/s) olarak %20 ortam türbülanslı ortam belirlendi. Farklı durumlar için elde edilen sonuçların tümü aynı mesh yapısı çözünürlüğü, aynı k - ϵ türbülans modeli ve aynı sınır koşulları ile elde edilmiştir. 60 iterasyonlu ikinci derece rüzgar şeması uygulanmış ve yinelemeler yakınsama kriterlerine ulaşıncaya kadar devam etmiştir. Çizelge 3.10'da CFD doğrulama adımları gösterilmektedir.

Çizelge 3.10. Çözümleme ayarları.

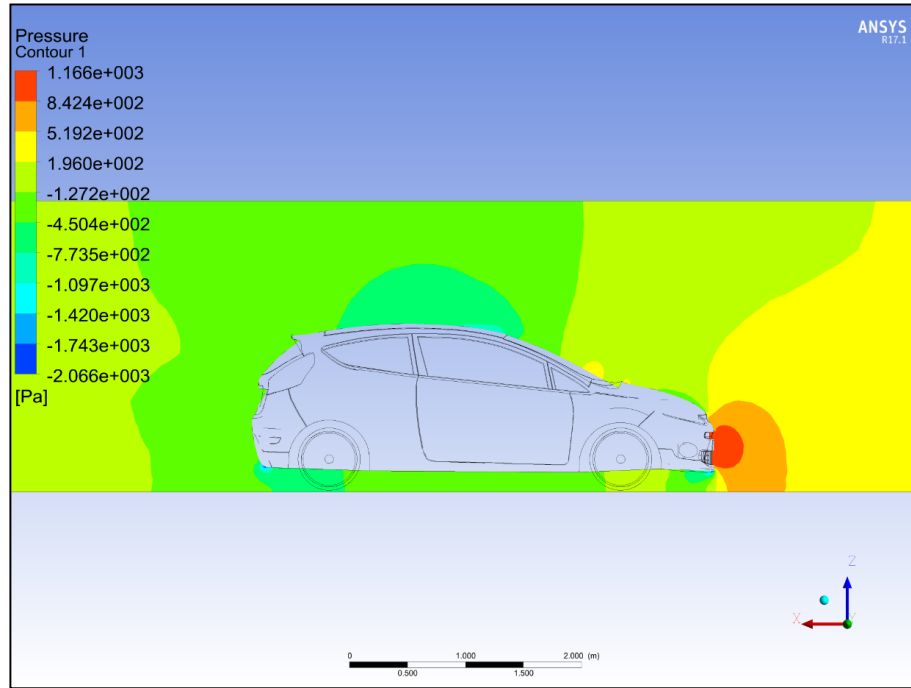
Mevcut Spoyler ve Alternatif #1, #2, #3	
Solver Type	Pressure Based
Velocity Formulation	Relative
Time	Steady
Gravity	Z direction -9.81m/s ²
Viscous Model	k-epsilon (2-eqn)
k-epsilon model	Realizable
Near Wall Treatment	Non-Equilibrium Wall Functions
Air density	1.175kg/m ³
Air Viscosity	1.7894e-05
Velocity Inlet	X direction 40m/s
Turbulent Viscosity Ratio	20
Out Zone Turbulent Viscosity	10
Reference Area	0.2446547m ²
Pressure Velocity Coupling	Coupled Scheme
Gradient	Last Squares Cell Based
Pressure	Second Order
Momentum	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Number of Iterations	60

3.4. CFD SİMÜLASYON ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

3.4.1. Mevcut Spoyler İçin CDF Sonuçları

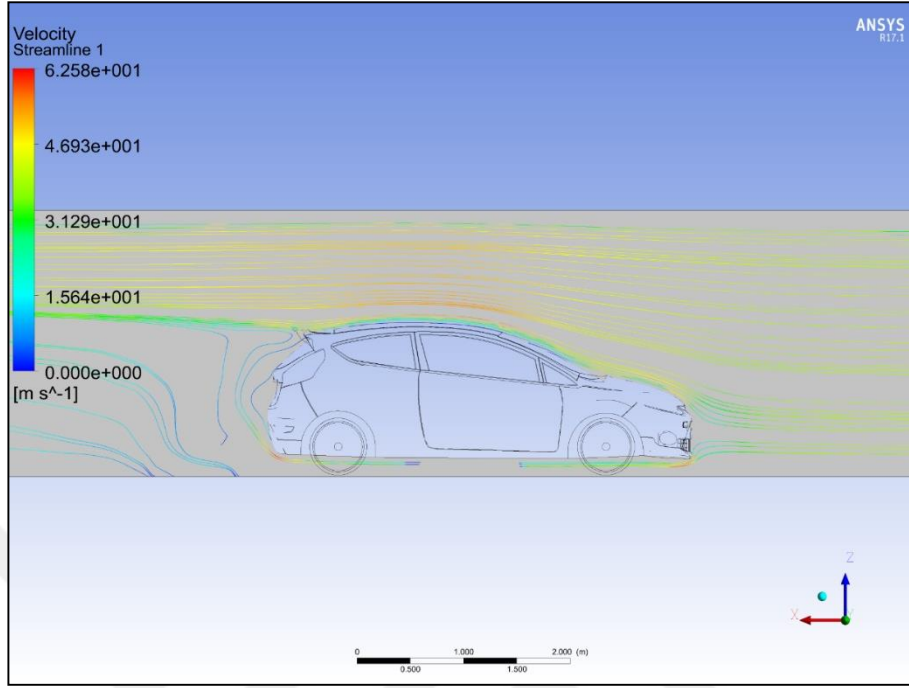


Şekil 3.30. Mevcut spoyler analiz modeli hava akışı.

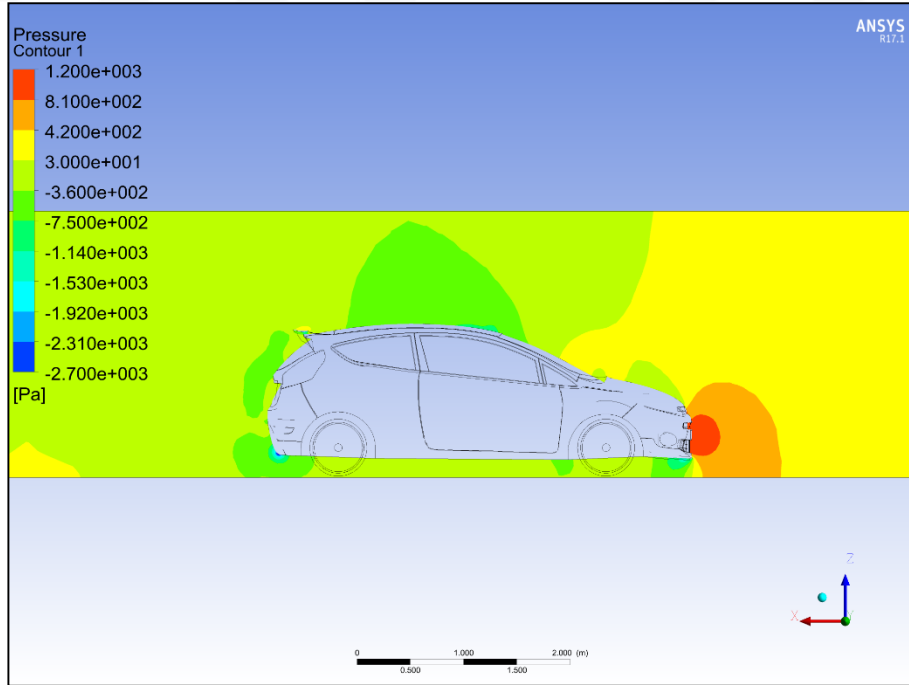


Şekil 3.31. Mevcut spoyler analiz modeli basınç hatları.

3.4.2. Alternatif #1 NACA 2415 Modeli İçin CFD Sonuçları.

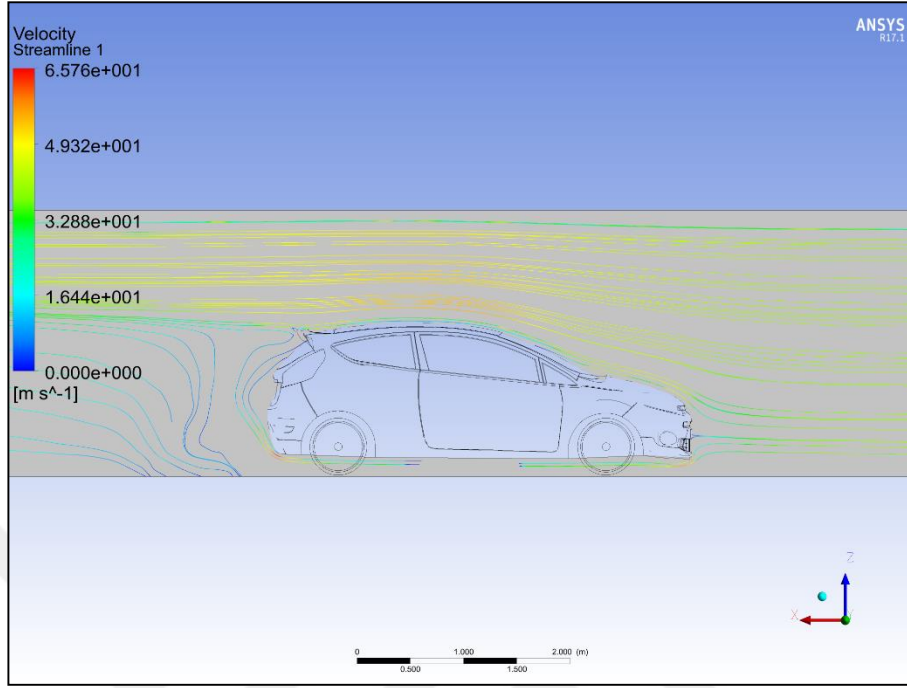


Şekil 3.32. Alternatif #1 NACA 2415 analiz modeli hava akışı.

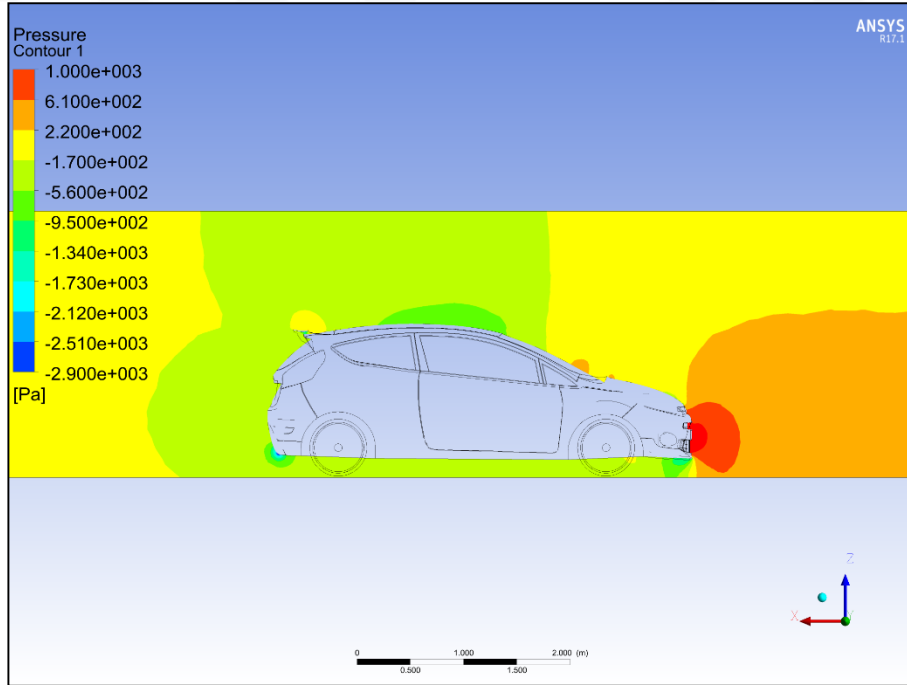


Şekil 3.33. Alternatif #1 NACA 2415 analiz modeli basınç hatları.

3.4.3. Alternatif #2 NACA 4412 Modeli İçin CFD Sonuçları

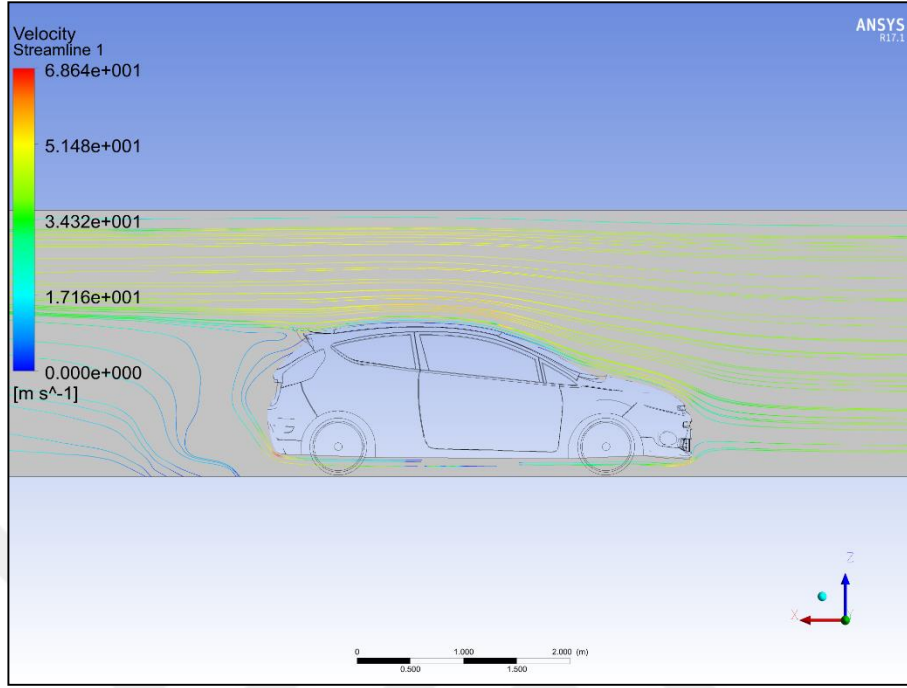


Şekil 3.34. Alternatif #2 NACA 4412 analiz modeli hava akışı.

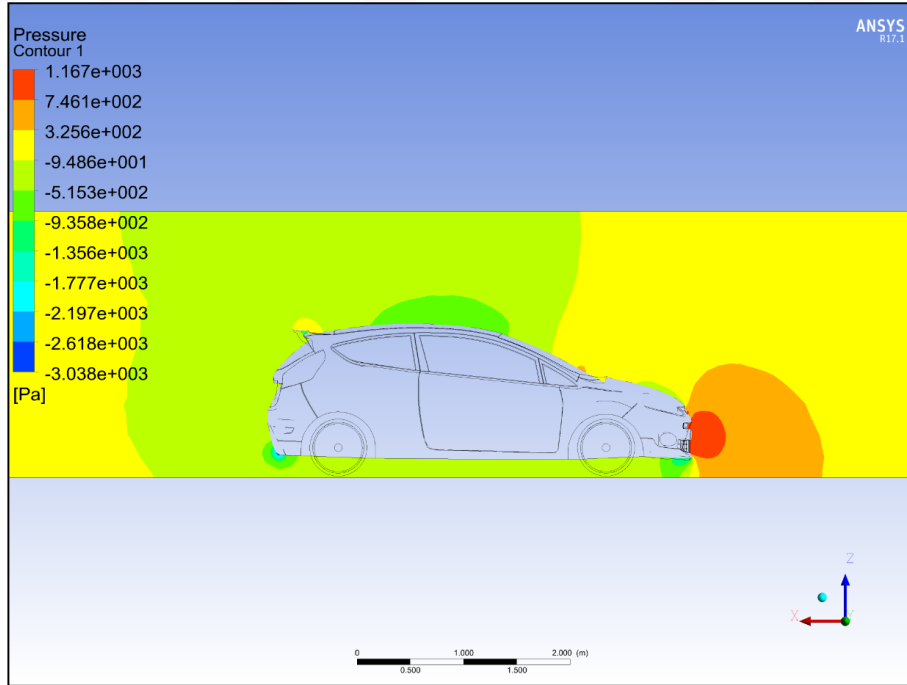


Şekil 3.35. Alternatif #2 NACA 4412 analiz modeli basınç hatları.

3.4.4. Alternatif #3 NACA 6409 %9 Modeli İçin CFD Sonuçları



Şekil 3.36. Alternatif #3 NACA 6409 %9 analiz modeli hava akışı.



Şekil 3.37. Alternatif #3 NACA 6409 %9 analiz modeli basınç hatları.

3.4.5. Mevcut Spoiler ve Alternatif #1, #2, #3 Spoiler Modelleri İçin CFD Sonuçları

CFD analizi sonuçlarına göre Z-ekseni yönünde görülen negatif yük kaldırma kuvvetinin tersi yani baskı kuvveti değeridir. Çizelge 3.11 da Mevcut spoilerin üzerine 32365N'luk negatif değer ederken yeni alternatif #1, #2 ve #3 spoilerleri arasında en yüksek baskı kuvveti sağlayan NACA 6409 modeli ile değer 51740'e yükselmiştir. Otomobilin arka kısmına etki eden baskı kuvveti değeri %59 oranında artmıştır. Bu da araç aerodinamiğini önemli ölçüde etkileyecek bir sonuçtur.

Çizelge 3.11. CFD yük transfer özeti.

	Mevcut Spoiler	Alternatif #1 NACA 2415	Alternatif #2 NACA 4412	Alternatif #3 NACA 6409
X-ekseni	1233,4 N	1315,2 N	1400 N	1425,5 N
Y-ekseni	283,78 N	400,21 N	426,03 N	433,78 N
Z-ekseni	-32365 N	-47736 N	-50816 N	-51740 N
Yüzeyler üzerine dağılan yük kuvvetleri				
X-ekseni	2,182 N	2,4494 N	2,6074N	2,6549 N
Y-ekseni	1,4899e-002 N	2,8195 e-002 N	3,001 e-002 N	3,056e-002 N
Z-ekseni	23,901 N	16,177 N	15.197 N	14,926 N

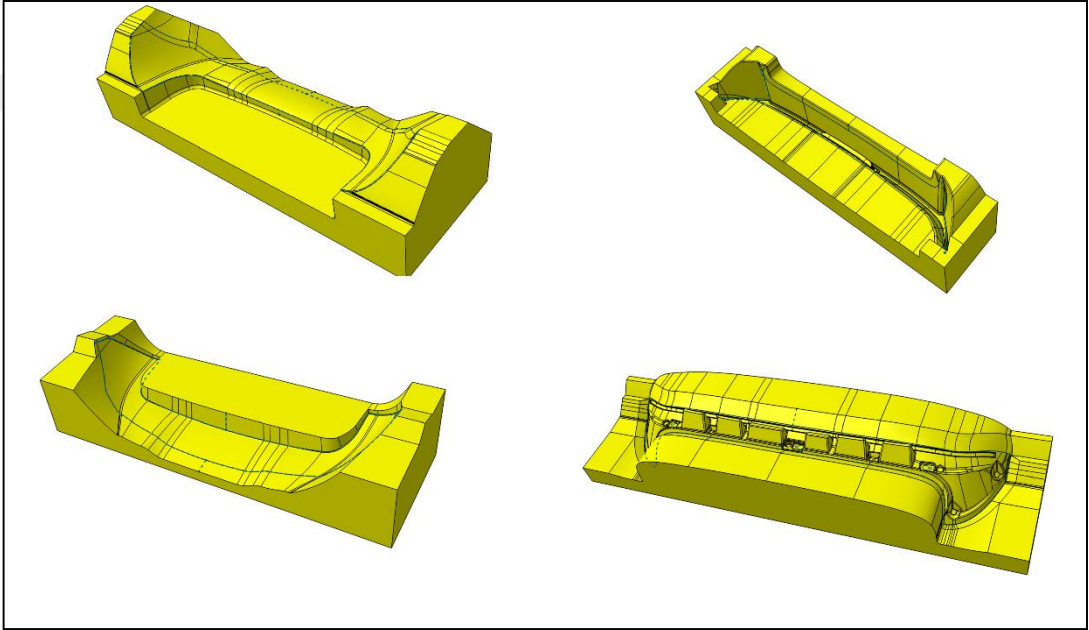
Bununla birlikte Şekil 3.30, Şekil 3.32, Şekil 3.34 ve Şekil 3.36'da otomobilin arka kısmında oluşan hava akımları incelendiğinde herbir yeni alternatif spoiler modellerinin otomobilin arkasında oluşan düzensiz havayı önemli ölçüde dengelediği görülmektedir.

Şekil 3.31, Şekil 3.33, Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de otomobil üzerine etki eden basınç dağılımları gösterilmiştir.

3.5. YENİ SPOYLER 3D KALIP TASARIMI ve ÜRETİMİ

3.5.1. 3D Kalıp Tasarımı

Yeni spoyler modelini üretebilmek için parçaların kalıplanabilir özelliklerde birleşim yerlerinden ayrılması ve herbir spoyler bileşeni için kalıp oluşturmak gerekmektedir. Kalıp modellerinin geometrisi “CATIA V5-6R2015” bilgisayar destekli tasarım programı yardımıyla oluşturulmuştur (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. Kalıp modelleri.

3.5.2. Kalıp Modellerinin Üretimi

Mdf orta sertlikte, CNC de kolay işlenebilen dolgu verniği ve astar ile kolaylıkla pürüzsüz yüzeyler elde edilebilen bir malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı birçok makine, otomotiv ve havacılık sektörlerinde kalıp malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Dört farklı kalıp modeli 1830mmx3660mmx30mm tabakaların CNC ebatlama ile ebatlanmış ve kalıbın istenilen yükseklikte ve kolay işlenebilmesi için soğuk tutkal ile 12 saatlik presleme ile ön kalıp modellerine uyabilecek kütükler halinde yapılmıştır.

Kalıp modellerini CNC de işlenebilmesi için g kodları MasterCAM X5 yazılımı ile hazırlanmış ve işlenmiştir (Şekil 3.39 ve Şekil 3.40).



Şekil 3.39. CNC’de kalıp modellerinin işlenmesi.



Şekil 3.40. Dört ayrı kalıp modelleri.

MDF kalıplardan yüksek yüzey kalitesine sahip karbon fiber parçalar elde edebilmek için kalıp yüzeyi üç kat selülozik dolgu verniği ile uygulaması ile sıvı geçirmez özellikte doyurulmuştur. Kalıp yüzeyleri p400 kum zımpara ile pürüzlülük değerleri azaltılmıştır. Bu uygulamanın ardından yüzeyler akrilik astar ile üç kat uygulanıp her

kat p1500 kum zımpara ve su ile ıslatarak zımparalanmıştır. Kalıplar bu işlemden sonra muntazam bir yüzey pürüzsüzlüğüne kavuşmuştur (Şekil 3.41).



Şekil 3.41. Yüzey işlemleri bitirilen kalıp modelleri.

3.6. CFRP SPOYLER ÜRETİMİ

3.6.1. Kalıp Ayırıcı Hazırlama

Karbon fiber spoyler parçalarının üretimini kolay bir şekilde yapabilmek ve parçaların kalıplardan rahat bir şekilde çıkartılabilmesi için kalıp yüzeyleri metil etil keton ile temizlendikten sonra RAKU-TOOL® AC-9102 kalıp ayırıcı kullanılarak 15'er dakika ara ile 0°, 45°, 90° ve 0° olarak 4 kat uygulanmıştır. Uygulamadan sonra kalıp yüzeyleri mikrofiber bez ile temizlenmiştir.

3.6.2. Vakum Yöntemi İle Karbon Fiber Parça Üretimi

MGS Laminasyon Epoksi Seti L285/H287 Bölüm 3.2.3 Epoksi reçineler konusunda bahsedildiği gibi uygun oranlarda karıştırılarak kalıp yüzeyine bir film tabakası olacak şekilde sürülmüştür. Spoyler parçalarının ilk katı 245gr 3K twill karbon fiber kumaşı kesimi bilgisayar ortamından alınan paftalar yardımıyla kontrollü bir şekilde 1400cmx320cm boyutlarında yapılmıştır. Kesilen kumaşların yönleri kalıp yüzeylerinin heryerini dolduracak şekilde serilmiştir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. İlk kat 245gr/m² fiber kumaş serimi.

İkinci kat uygulaması için serilen ilk kat üzerine epoksi sürülmüş ve 245gr 3K twill kumaş ile ikinci kat uygulanmıştır. Spoylerin mukavemetini ve rijitliğini daha da arttırmak için 380 gr/m² BA +45/-45 kumaş 2 kat olmak üzere toplam 4 kat malzeme uygulanarak 2mm kalınlığında parçalar elde edilmiştir. Kumaşların yüzeyleri tamamen epoksi ile doyurulması üretilen parçaların sağlamlığı için çok önemlidir. Serilen kumaşlar üzerine az gözenekli pijama olarak isimlendirilen bariyer film serilmiştir. Bariyer filmin özelliği karbon fiber ve epoksiyi vakum torbasına yapışmasını önlemektir. Bariyer film üzerine fazla epoksinin parçadan emdirilmesi ve vakumun kolay bir şekilde havalandırılabilmesi için poliester malzeme olarak havalandırıcı yerleştirilmiştir. Kalıbın etrafına yapışkan sızdırmaz bant çekilerek

vakum torbası bütün parça yüzeyini kaplayacak şekilde yerleştirilmiş ve sızdırmaz bantla yapıştırılmıştır (Şekil 3.43). Havalandırıcı ile vakum pompasına bağlanmıştır. Parçalar üzerine 30 dakika tam vakum uygulamasının ardından vakum ağzları hava sızdırmaz bir şekilde kapatılarak parçaların tam mukavemetini kazanması için 24 saat 25°C sıcaklıkta bekletilmiştir.



Şekil 3.43. Vakum torbalama ile parça üretimi.

Yeterli sürenin ardından parçalar kalıplardan dikkatli bir şekilde çıkartılmış ve yüzeyleri temizlenmiştir (Şekil 3.44).



Şekil 3.44. Üretilen spoyler parçaları.

3.6.3. Spoiler Parçalarının Birleştirilmesi

Kalıplardan alınan parçalar, kalıplara çizilen kesim hatlarının yardımıyla fazla kenar uzantıları kesildikten tasarıma araç üzerindeki pozisyonları ve kesim hattının uygunluğu test edilmiştir. Parçaların birleştirilmesi mengene ve bağlama ekipmanları yardımıyla parçalar arasına epoksi reçine uygulaması yapılarak birleştirilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45. Parçaları birleştirilen yeni spoiler.

3.7. SPOYLERİN ARAÇ ÜZERİNE MONTAJI

Parçaların birleştirilme işleminden sonra spoilerin dış yüzeyi p400 kum zımpara ile temizlendikten sonra 3 kat akrilik vernik uygulanmış ve p2000 kum zımpara ve su ile parlatılmıştır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46. Yüzey işlemleri biten spoyler.

Yüzey temizliği ve parlatma işlemleri tamamlanan spoyler araç üzerindeki orijinal bağlantı noktalarına monte edilmiştir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47. Araç üzerine monte edilen spoyler.

BÖLÜM 4

YAKIT TÜKETİMİ VE AERODİNAMİK PERFORMANS TESTLERİ

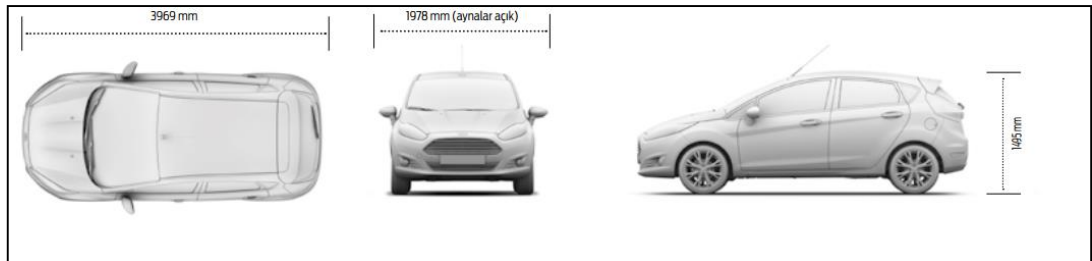
Yakıt tüketimi ve performans testleri, uluslararası belgelendirme kuruluşu TÜV NORD tarafından belgelendirilmiş Mersin sanayinde yerleşik PROSMER şirketine yaptırılmıştır.

4.1. TEST ARACININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Deneysel test çalışmalarında FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS araç kullanılmıştır. Şekil 4.1 de araç ölçüleri ve Çizelge 4.1’de test aracının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test aracı teknik özellikleri [39].

FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS			
Ağırlık	1105kg	Motor tipi	4-cylinder 1.5 L Duratorq TDCi
Uzunluk	3969mm	Yakıt kapasitesi	40L
Genişlik	1978mm	Yakıt tipi	Dizel
Yükseklik	1495mm	Motor gücü	75PS
C_D	0.33	Vites tipi	5-Vites Manuel
Odometre	64250km	Lastik durumu	%95
Model Yılı	2015	Lastik basıncı	32psi



Şekil 4.1. Test aracının genel ölçüleri [39].

Otomobilin mevcut spoylerli durumuna “Mevcut Spoylerli Test Aracı” olarak, yeni spoylerli durumuna ise “Yeni Spoylerli Test Aracı” olarak isim verilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Mevcut spoylerli test aracı ve yeni spoylerli test aracı.

4.2. EEC 80/1268/EC YAKIT TÜKETİM TESTİ STANDARTLARI

Çizelge 4.2’de verilen yakıt tüketimine ait değerler, Avrupa Ekonomik Topluluğu’nun standart direktifi EEC 80/1268/EC ile elde edilmiştir. Yakıt tüketimi değerleri lt/100km mertebesindeki sonuçları göstermektedir. Yapılan testlerde kullanılan otomobilin donanım seviyesi standarttır [39].

Çizelge 4.2. FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS fabrika verileri [39].

FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS				
Yakıt tüketimi			Performans	
Şehir içi (lt)	Şehir dışı (lt)	Ortalama (lt)	Maks hız km/s	0-100 km/s(sn)
4,4	3,3	3,7	167	13,5

Şehir içi yakıt tüketimi testi: Teorik 4 km'lik bir mesafede boyunca laboratuvar şartlarında soğuk halde çalıştırılmış motor 50 km/s maksimum ve 19 km/s ortalama hızda olacak şekilde ölçülerek elde edilen yakıt tüketim değeridir.

Şehir dışı yakıt tüketimi testi: Şehir içi yakıt tüketimi testi ölçümü tamamlandıktan hemen sonra teorik 7 km'lik bir mesafe boyunca 120 km/s maksimum hıza ulaşabilecek şekilde, yarı zamanlı sabit ve yarı zamanlı değişken hızla ölçülmüş yakıt tüketim değerleridir.

Ortalama yakıt tüketimi değerleri: Şehir içi ve şehir dışı yakıt tüketimi testlerinde kat edilen mesafelerinin ağırlıklı ortalamaları ile hesaplanmaktadır [39].

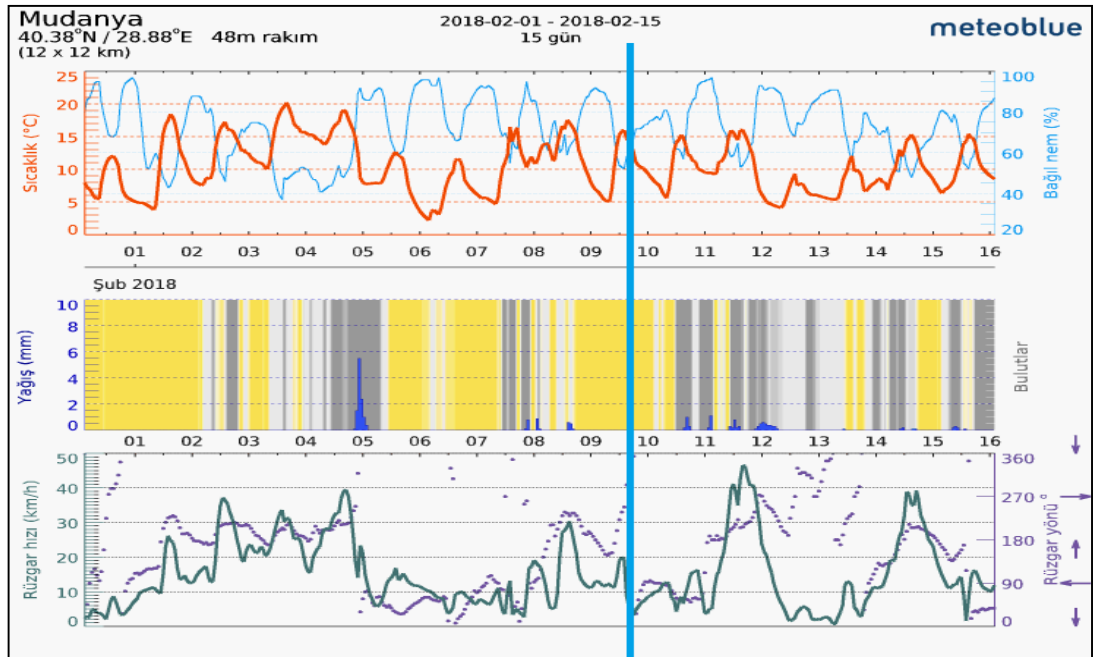
Deneysel yakıt tüketim testi çalışmaları için, Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun EEC 80/1268/EC direktifi standartlarına uygun hazırlıklar tamamlanmıştır:

1. Aracın temiz olması gereklidir ve camlar ile hava girişleri kapalı olmalı, test aşamasında sadece aracın çalışması için gerekli ekipmanlar kullanılmalıdır. Hava ısıtması için karbüratör girişinde manuel olarak kontrol edilen bir cihaz varsa, “yaz” konumunda olmalıdır [40].
2. Radyatör fanı sıcaklık kontrollü ise, normalde araçta olduğu gibi çalışmalıdır. Yolcu bölmesi ısıtma sistemi çalışmamalı, klima sistemi kapalı olmalı, ancak kompresör normal çalışmalıdır [40].
3. Lastikler, araç tarafından orijinal ekipman olarak belirtilen türlerden biri olmalıdır. Test yükü ve hızları için önerilen basınca şişirilmiş ve kullanılan basınçlar test raporunda belirtilmelidir [40].
4. Yakıt, motora % 2 doğruluk toleransı oranında tüketilen miktarı ölçebilen bir cihazla sağlanmalıdır; bu cihaz normal kaynağa müdahale etmemelidir.

Ölçüm sistemi hacimsel ise, yakıtın sıcaklığı hacim ölçüm noktasında ölçülmelidir. Yakıt sıcaklığı mutlak olarak ölçülür ve testler sırasındaki ortalama yakıt sıcaklığı kayıt altına alınır. Sonuçlar 20°C derecedeki yakıt sıcaklığına çevrilerek verilir [40].

5. Genel yakıt besleme sisteminden ölçüm sistemine hızlı bir şekilde geçiş yapabilmek için bir valf sistemi olmalıdır. Bu değiştirme 0-2 sn'den daha uzun sürmemelidir [40].
6. Ortalama rüzgar hızı 3 m/s'den az ve ani rüzgar hızı 8 m/s'den az olmalıdır.
7. Araç hızının ölçümü %0,5 doğruluk toleransı oranında ölçüm yapabilen bir cihazla yapılmalıdır [40].
8. Yol eğimi %2'yi geçmemelidir. Yol zemini asfalt olmalıdır. Ayrıca kuru ve temiz olmasına dikkat edilmelidir [40].
9. Test datası alınacak yol standart sapmayı azaltacak olması bakımından mümkün olduğunca uzun olmalı ve %1 hassasiyetle ölçülebilmelidir [40].

Hava sıcaklığı 15°C nin altında yağışsız ve 2.6m/s rüzgar hızı olan 09 Şubat ile 10 Şubat arası olarak belirlenmiş testler Bursa / Mudanya civarında deniz seviyesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Şubat 2018 hava raporu [41].

Mevcut spoylerli test aracı ile yapılan testlerin ardından motorunun soğumaya bırakılmış ve devamında yeni spoylerli test aracı ile aynı güzergah hava ve yol şartlarında tekrarlanması ile gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Temel Test Ekipmanları

Deneyleerde kullanılan temel test ekipmanları:

1. Motor devir ve hız göstergesi Odometre,
2. Kronometre,
3. Rüzgar hızını ölçmek için Anemometre ($\pm 0,1$ m/s hassasiyetinde),
4. Yer düzleminin eğimini ölçmek için Kronograf,
5. Çevre şartlarını ölçmek için Barometre, termometre, vs. (%0,2 hassasiyetlerinde),
6. Yakıt sıcaklığının tespiti için (yakıt pompasının girişine ve çıkışına) Thermocouple,
7. Yakıt yoğunluğunun ölçümü için Densimeter.

4.2.2. Yakıt Tüketimi Hesaplamaları

Yakıt tüketimi gravimetrik olarak ölçülürse, tüketim, aşağıdaki formülü kullanarak ölçümü M (yakıt tüketilen kilogram cinsinden) dönüştürerek ifade edilir (lt/100 km olarak):

$$C = \frac{100M}{D.Sg} (l/100km) \quad (4.1)$$

Burada; Sg referans koşullardaki yakıt yoğunluğunu (kg/dm^3) ve D kat edilen mesafeyi (km) ifade eder. Yakıt tüketimi hacimsel olarak ölçülürse, tüketim aşağıdaki formülle ifade edilir (lt/100 km olarak):

$$C = \frac{V(1 + a(T_o - T_f))}{D} (l/100km) \quad (4.2)$$

Burada;

V = kullanılan yakıt litresi (lt),

a = yakıt için hacimsel genleşme katsayısı,

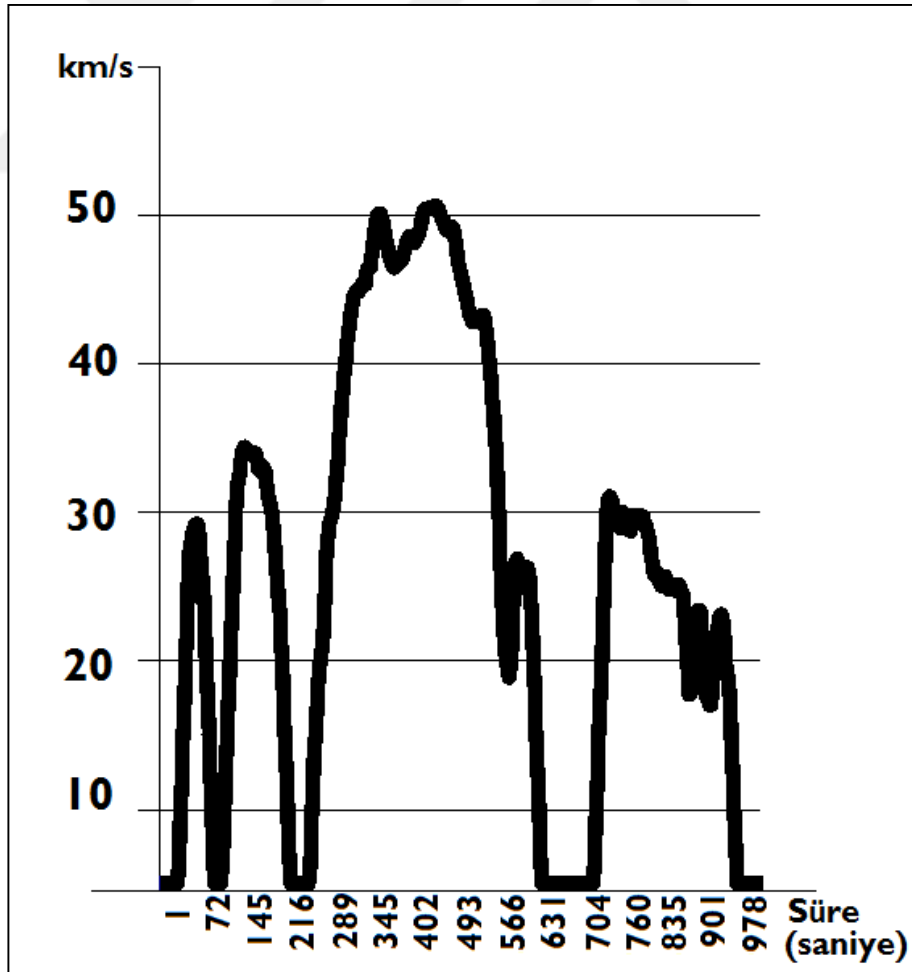
T_0 = referans sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$),

T_f = ölçüm noktasında tespit edilen sıcaklık değerini ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir [40].

4.3. FAZ-1 YAKIT TÜKETİMİ TESTİ

4.3.1. Mevcut Spoilerli Test Aracı İle Şehir İçi Yakıt Tüketimi Testi

Mevcut spoilerli test aracı ile belirlenen güzergah içerisinde belirlenen 3 ayrı nokta durup bekleme ve kalkma işlemi yapılarak hız değerleri saniyelere göre kayıt edilmiştir (Şekil 4.4).



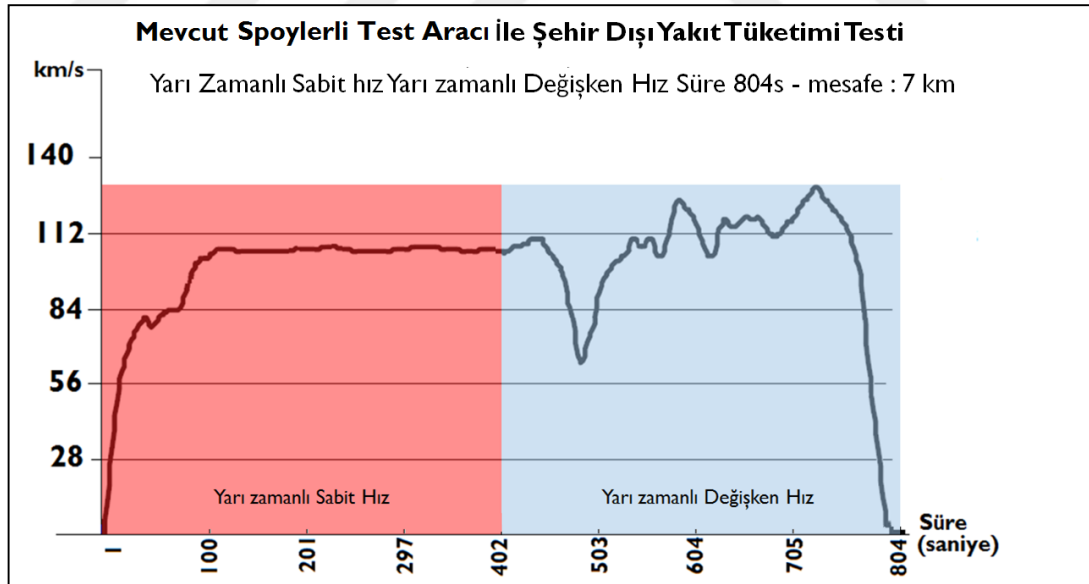
Şekil 4.4. Mevcut spoilerli test aracı şehir içi yol testi.

Mevcut spoylerli test aracı şehir içi yakıt tüketimi testi maksimum 50km/s ve ortalama 19 km/s hız ile 4km'lik bir mesafenin ardından tüketilen yakıt miktarı ölçülmüş ve 0,175lt yakıt tükettiği hesaplanmıştır. Bu değer; lt/100km olarak karşılığı 4,39lt/100km'dir. Test süresi 978 saniye sürmüştür.

4.3.2. Mevcut Spoylerli Test Aracı İle Şehir Dışı Yakıt Tüketimi Testi

Mevcut spoylerli test aracı ile şehir dışı yakıt tüketimi testi: 7 km'lik bir mesafede yarı zamanlı ve tam zamanlı olmak üzere, maksimum 120 km/s hıza ulaşacak şekilde sürüş gerçekleşmiş ve otomobilin, bir mesafenin ardından tüketilen yakıt miktarı ölçülmüş 0.229lt yakıt tükettiği hesaplanmıştır. Bu değer; lt/100km olarak karşılığı 3,28lt/100 km'dir. Test süresi 804 saniye sürmüştür.

Şekil 4.5'te yarı zamanlı sabit hız ve yarı zamanlı değişken hız ile yapılan ölçüm grafiği verilmiştir.

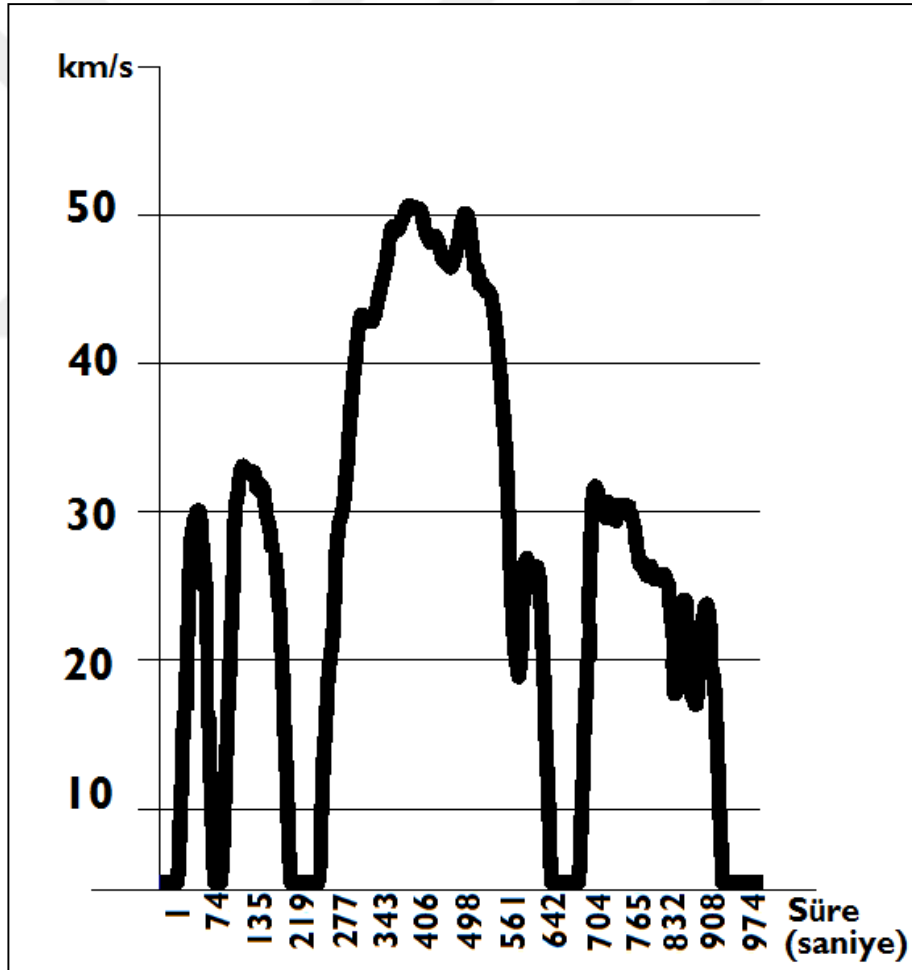


Şekil 4.5. Mevcut spoylerli test aracı şehir içi yol testi.

4.3.3. Yeni Spoyletli Test Aracı İle Şehir İçi Yakıt Tüketimi Testi

Yeni spoylerli test aracı ile belirlenen güzergah içerisinde belirlenen 3 ayrı nokta durup bekleme ve kalkma işlemi yapılarak hız değerleri saniyelere göre kayıt edilmiştir (Şekil 4.6).

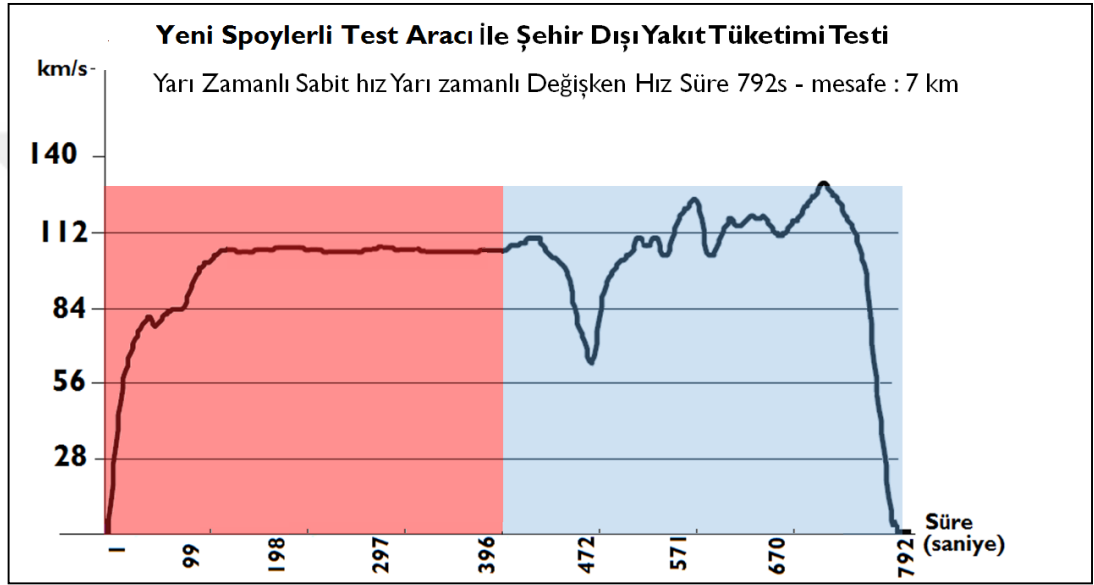
Yeni spoylerli test aracı ile şehir içi yakıt tüketimi testi: maksimum 50km/s ve ortalama 19 km/s hız ile 4km'lik bir mesafenin ardından tüketilen yakıt miktarı ölçülmüş ve 0,173lt yakıt tükettiği hesaplanmıştır. Bu değer; lt/100km olarak karşılığı 4,32lt/100km'dir. Test süresi 974 saniye sürmüştür.



Şekil 4.6. Yeni spoylerli test aracı şehir içi yol testi.

4.3.4. Yeni Spoyletli Test Aracı İle Şehir Dışı Yakıt Tüketimi Testi

Yeni spoyletli test aracı ile şehir dışı yakıt tüketimi testi: 7 km'lik bir mesafede yarı zamanlı ve tam zamanlı olmak üzere, maksimum 120 km/s hıza ulaşacak şekilde sürüş gerçekleştirilmiş ve otomobilin, bir mesafenin ardından tüketilen yakıt miktarı ölçülmüş 0.223lt yakıt tükettiği hesaplanmıştır. Bu değer; lt/100km olarak karşılığı 3,19lt/100km'dir. Test süresi 792 saniye sürmüştür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Yeni spoyletli test aracı şehir dışı yol testi.

Çizelge 4.3 te kayıt edilen verilere göre düşük hızlarda yakıt tüketimi verilerinin yüksek hızlardaki yakıt tüketimi verilerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı şekilde yüksek hızlarda elde edilen yakıt tüketimi tasarrufu değeri de düşük hızlardaki yakıt tüketimi değerlerinden yüksek olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.3. Yakıt tüketimi test verileri.

	Yakıt tüketimi		
	Şehir içi	Şehir dışı	Ortalama
Fabrika verisi	4,4lt	3,3lt	3,7lt
Mevcut Spoyletli Test Aracı	4,39lt	3,28lt	3.68lt
Yeni Spoyletli Test Aracı	4,32lt	3,19lt	3.6lt

4.4. FAZ-2 PERFORMANS TESTİ

Performans testleri tur zamanlayıcı ile birlikte optik temassız hız ve mesafe algılayıcısı kullanılarak yapılmıştır. Performans ve hızlanma testleri aynı güzergahta 0-70km/s, 0-100 km/s, 0-120 km/s olarak belirlenmiş ve herbir hız aralığını verimli bir şekilde analiz edebilmek için dört tur yapılarak ortalama değerler elde edilmiştir. Tur sonuçları ve ortalamaları Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiş ve Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'deki grafik sonuçları elde edilmiştir.

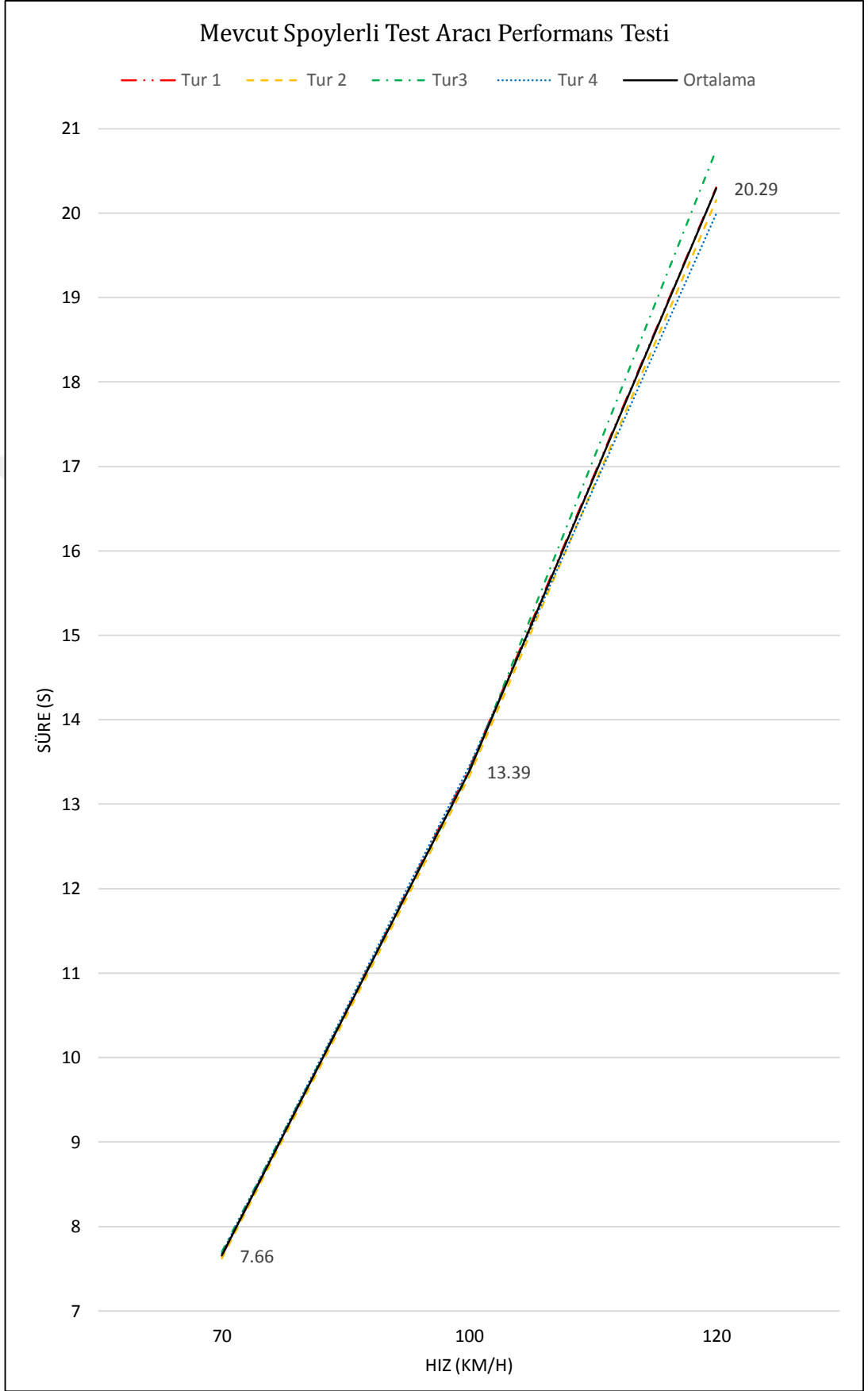
Çizelge 4.4. Mevcut spoylerli test aracı performans testi.

0-70 0-100 0-120 hızlanma süreleri					
	Tur 1	Tur 2	Tur3	Tur 4	Ortalama
0-70	7.65	7.62	7.70	7.68	7.66
0-100	13.42	13.33	13.38	13.45	13.39
0-120	20.3	20.15	20.75	19.99	20.29

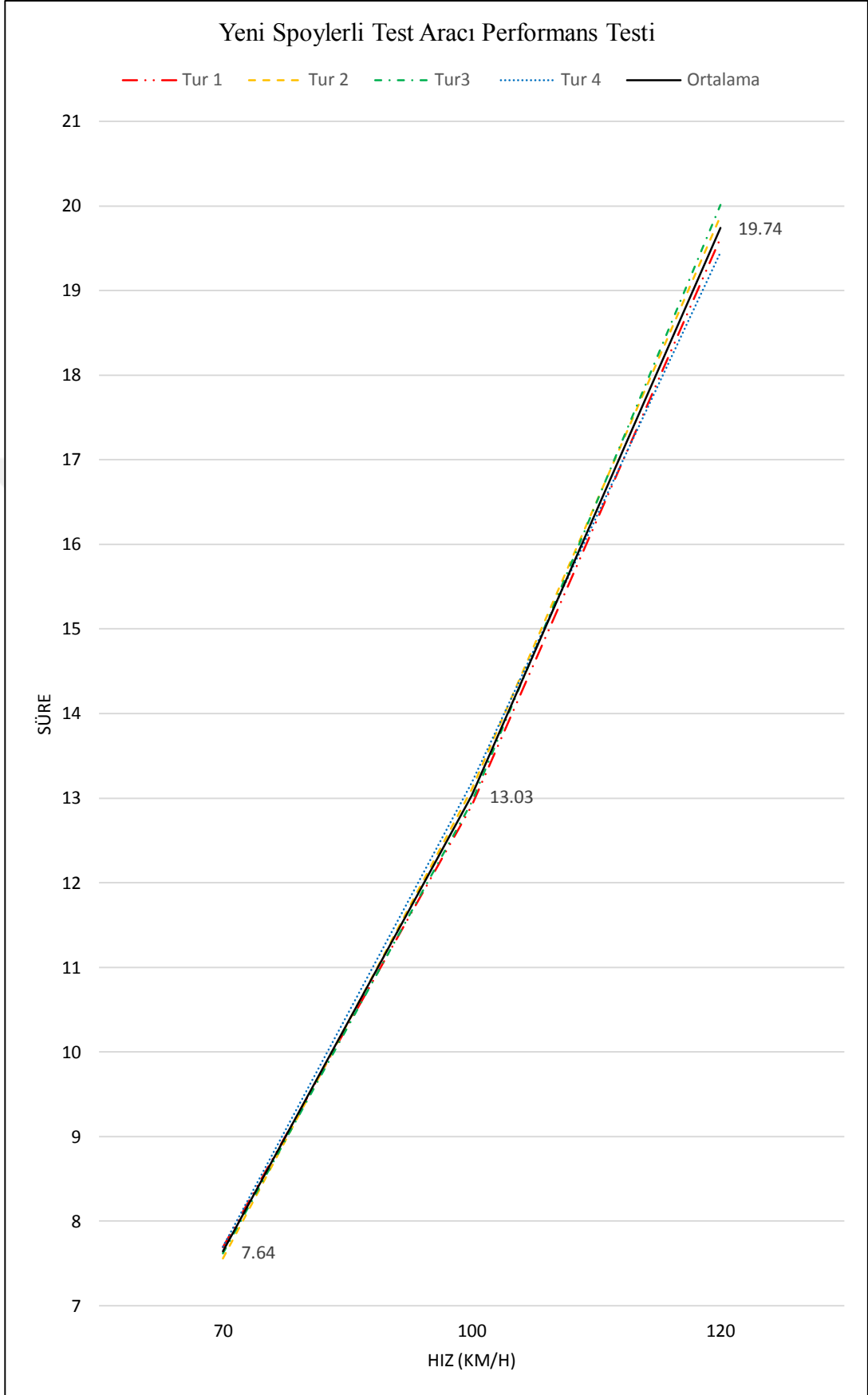
Çizelge 4.5. Yeni spoylerli test aracı performans testi.

0-70 0-100 0-120 hızlanma süreleri					
	Tur 1	Tur 2	Tur3	Tur 4	Ortalama
0-70	7.69	7.56	7.62	7.70	7.64
0-100	12.91	13.1	12.95	13.18	13.03
0-120	19.62	19.88	20.01	19.45	19.74

Performans testi kapsamında, 0-70 km/s aralığındaki değerler her iki tip test aracı için ölçülen süre değerleri çok yakın olması ile birlikte, 0-100 km/s ve 0-120 km/s aralığında hızlanma süreleri yeni spoylerli test aracında etkin bir şekilde farklılaşmaya başladığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.8. Mevcut spoylerli test aracı performans testi.



Şekil 4.9. Yeni spoilerli test aracı performans testi.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, FORD FIESTA 1.5 Duratorq TDCI 75PS aracının mevcut spoyler modeli yerine NACA airfoil kütüphanesinden yararlanılarak araca uygun yeni bir karbon fiber spoyler tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Aracın mevcut durumu ve yeni spoylerli durumunun sonuçlarını görebilmek için CFD analizleri, yakıt tüketimi ve performans testleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yakıt tüketimi ve performans testleri uluslararası belgelendirme kuruluşu TUV NORD tarafından belgelendirilmiş Mersin sanayinde yerleşik PROSMER şirketine yaptırılmıştır.

1. CFD analiz çalışmaları ile, NACA 6409 %9, NACA 2415 ve NACA 4412 serilerinin CFD analizleri yapılmış ve reynold sayısı değerine göre diğerlerine oranla daha yüksek olduğu tespit edilen NACA 6409%9 serisi tercih edilmiştir.
2. CFD analizi sonuçlarına göre, FORD FIESTA otomobilinin mevcut spoyleri üzerine etki eden Z-ekseni yönünde negatif yük 32365N olarak hesaplanmıştır. Reynold sayısı değerine göre tercih edilen NACA 6409 airfoil kesitli spoyler modeli ile bu değer 51740N olarak hesaplanmıştır. Bu durumda FORD FIESTA otomobilinin arka kısmına etki eden baskı kuvveti değeri %59 oranında arttığı teorik olarak hesaplanmıştır.
3. CFD analizleri sonucunda elde edilen akış diyagramlarında, Hatchback tipi araçların arka kısımlarında oluşan düzensiz hava akımı, airfoil profil kesitine sahip spoyler modeli ile düzenli bir akıma dönüştüğü tespit edilmiştir.
4. Mevcut spoylerli FORD FIESTA test aracı ve yeni spoylerli FORD FIESTA test aracı için yapılan şehir içi yakıt tüketimi testlerinde, yeni

5. spoyler modeli ile, %1.14'lük bir kazanç sağlanmış ve lt/100km oranında %1.59'luk bir kazanç elde edilmiştir.
6. Mevcut spoylerli FORD FIESTA test aracı ve yeni spoylerli FORD FIESTA test aracı için yapılan şehir dışı yakıt tüketimi testlerinde yeni spoyler modeli ile, %2.6'lık bir kazanç sağlanmış ve lt/100km oranında %2.74'lük bir kazanç elde edilmiştir.
7. Şehir içi ve şehir dışı yakıt tüketim değerlerinin ağırlıklı ortalama değerleri hesaplandığında yeni spoylerli FORD FIESTA test aracı, lt/100km oranında %2.17'lik yakıt tasarrufu sağlamıştır.
8. Performans testlerinde mevcut spoylerli FORD FIESTA test aracı ve yeni spoylerli FORD FIESTA test aracı için tespit edilen değerler, 0-70km/s bant aralığında yakın seviyelerde takip ederken, 0-100km/s ve 0-120km/s gibi daha yüksek hızlarda olumsuz yakıt tasarrufu ve araç performansı olarak fayda sağlanmıştır.
9. Performans testlerinde yeni spoylerli FORD FIESTA test aracı mevcut spoylerli FORD FIESTA test aracına göre ortalamada, 0-70km/s hızına 0.02 saniye, 0-100km/s hızına 0.36 saniye ve 0-120km/s hızına 0.55 saniye daha önce ulaşmıştır.
10. Elde edilen tüm bulgu, analiz, hesaplamalar ve sonuçlar; otomobil tasarımında araca etkiyecek aerodinamiğin başarılı bir şekilde hesaplanması ile elde edilen performansı daha yüksek, yakıt tüketimleri daha az olan ekonomik, çevreye duyarlı otomobiller üretebilmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada geliştirilen spoyler modeli ve ileride yapılacak benzer çalışmalar için bu çalışma kapsamında elde edilen kazanımlardan ve ilgili literatür taramalarından elde edilen bilgilerden yola çıkılarak üzerinde çalışılması gereken muhtemel öneriler;

1. Çalışma kapsamında belirlenen araç tipi, marka, modeli, NACA kütüphanesinden seçilen spoyler profil kesit tipleri ve tasarcının hayalgücüne bağlı olarak geliştirilebilecek yeni modellerle bir çalışma yapılabilir.

2. Bu çalışmada tercih edilen üretim yönteminin değişmesi ile daha hafif, daha dayanıklı ve aynı zamanda daha iyi yüzey kalitesine kompozit parçalar üretilmesi söz konusu olabilir.
3. Sürekli gelişen kompozit malzeme teknolojisi ile daha hafif karbon fiber türevleri ya da diğer hafif kompozit malzemeler kullanılarak testler yapılabilir.
4. Günümüz teknolojisi ile gerçek boyutlu bir otomobile etki eden dış kuvvetlerin, Reynolds sayısı hesaplamaları ile gerçeğe uygun bir şekilde küçültülüp bir deney modeli halinde uyarlanması ve maliyetleri çok yüksek olan aerodinamik araç performansı testlerinin de bu yöntemler ile maliyetleri en aza indirilerek yeni çalışmalara dahil edilmesi önerilmektedir.
5. Bu çalışmada maksimum hız testi yapılmamıştır. Spoylerlerin otomobillerin maksimum hızını hangi yönde etkilediği üzerine bir araştırma çalışması söz konusu olabilir.
6. Çalışmalarda gerçek rüzgar tünelleri kullanılarak gerçek saha testlerinde elde edilen sonuçlar ile bilgisayar ortamında elde edilen CFD analiz sonuçlarının karşılaştırması üzerine araştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Seljak G., “Race Car Aerodynamics”, *Ljubljana Üniversitesi Matematik ve Fizik Fakültesi Fizik Bölümü*, Ljubljana, 1-10 (2008).
2. Goto, Hucho W. H. and Sovran G. “Aerodynamics Of Road Vehicles”, Vol: 25 Annu. Rev., *Annual Reviews*, New York, 485-537 (1993).
3. Buresti, G., “Bluff Body Aerodynamics Ders Notları”, *Pisa Üniversitesi Uzay Mühendisliği Bölümü*, Genoa (2000).
4. Goto, Seward Derek, “Race Car Design”, Aerodynamics 1st ed., *Palgrave*, New York, 201-227 (2014).
5. İnternet: Honda News and Views, “Acura NSX Press Kit - Aerodynamics”, <http://news.honda.com/newsandviews/article.aspx?id=8929-en> (2018).
6. İnternet: Physcs and Astronomi University, “Bernoulli”, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pber.html> (2018).
7. Goto, White F. M. and Sovran G. “Fluid Mechanics”, Chapter 1., *Mc Graw Hill*, New York, 485-537 (2011).
8. İnternet: NASA, “Reynolds Number”, <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/reynolds.html> (2018).
9. Solmaz, H., “Değişik Araç Modellerinin Rüzgar Direnç Katsayılarının Bir Rüzgar Tünelinde Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 15-20 (2010).
10. İnternet: NASA, “Boundry Layer”, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/boundlay.html> (2018).
11. Fryšták L., “Formula Sae Aerodynamic Optimization”, Yüksek Lisans Tezi, *Brno Üniversitesi Uzay Bilimleri Enstitüsü*, Brno, 55 (2016).
12. Çakır, M., “CFD Study On Aerodynamic Effects Of A Rear Wing/Spoiler On A Passenger Vehicle”, Yüksek Lisans Tezi, *Santa Clara Üniversitesi Makine Mühendisliği*, California, 15 20(2012).
13. İnternet: NASA, “The Drag Equation”, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/drageq.html> (2018).

14. Demirciođlu, T. K., “Bir Araç Modelinin Aerodinamik Analizi Ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir 7* (2007).
15. Saxena M, T. K., “Vehicle Body Engineering Aerodynamics Ders Notları”, *University of Petroleum and Energy Studies, Dehradun* (2007).
16. İnternet: Formula 1 Directory, “Wings”,
<http://www.formula1-dictionary.net/wings.html> (2018).
17. İnternet: Formula 1, “Aerodynamics”,
<https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/understanding-f1-racing/Aerodynamics.html> (2018).
18. Riegels F. W., “Airfoil Sections”, Çeviri Editörü/Editörleri, *Randall D. G., Butterworth, London* (1961).
19. İnternet: Carspiritpk, “Car Spoilers: Style vs Purpose”,
<http://www.carspiritpk.com/2016/09/04/car-spoilers-style-vs-purpose/> (2018).
20. İnternet: Carid, “What Kind Of Spoiler is Right For You”,
<https://www.carid.com/articles/what-kind-of-spoiler-is-right-for-you.html> (2018).
21. İnternet: Gas2, “Car And Driver Increase Pinto Fuel Economy With 11\$ Of Ecomods”,
<https://www.carid.com/articles/what-kind-of-spoiler-is-right-for-you.html> (2018).
22. İnternet: Faro, “Faro Design® Scanarm 2.0”,
<https://www.faro.com/tr-tr/urunler/product-design/faro-design-scanarm> (2018).
23. Talerico, D., “Grouping In Object-Oriented Reverse Engineering”, Yüksek Lisans Tezi, *Bern Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bern 7* (2003).
24. İnternet: ANSYS SpaceClaim, “Reverse Engineering Without Constraint”,
<http://www.spaceclaim.com/en/Solutions/ReverseEngineering.aspx> (2018).
25. İnternet: NACA, “NACA 4 Digit Airfoil Generator”,
<http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit> (2018).

26. JACOBS E. N, WARD K. E and PINKERTON R. M., “The Characteristic of 78 Related Airfoil Sections From Test In The Variable–Density Wind Tunnel”, Report No 460., *National Advisory Committee for Aeronautics.*, Washington, 56 (1935).
27. Ashby M. F., “Materials Selection in Mechanical Design”, 1st ed., *Elsevier.*, Oxford, 90-100 (2005).
28. İnternet: RSC, “Advancing the Chemical Science”,
<http://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/Inspirational/resources/4.3.1.pdf> (2018).
29. Tochukwu G., “Carbon Fiber Composite Cellular Structures”, Doktora Tezi, *Virginia Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*, Virginia, 1 (2014).
30. Goto, Huang X, “Fabrication and Properties of Carbon Fibers”, 2., *Materials*, Michigan, 2370-2380 (2009).
31. İnternet: Fibermak Composites, “245g/m² Fiber kumaş 3k twill”,
<http://www.fibermakcomposites.com/shop/karbon-fiber-kumas-carbon-fiber-fabric/karbon-fiber-twill-kumaslar/karbon-fiber-kumas-245gr-m2-3ktwill> (2018).
32. Kuo-Chu H., “Epoxy Resin Admixture for Concrete”, Yüksek Lisans Tezi, *Missouri Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*, Rolla, 7-10 (1965).
33. İnternet: Bayar Üniversitesi, “Endüstri Polimerleri”,
http://www.bayar.edu.tr/besergil/endustri_polimerleri.pdf (2018).
34. İnternet: Dost Kimya, “MSG Laminasyon Epoksi Seti”,
<http://www.kompozit.net/?urun-174-mgs-laminasyon-epoksi-seti-l285-h287-1-4kg-set-a-b> (2018).
35. İnternet: Fibre Glast, “Vavuum Baggin Equipment and Techniques for Room-Temp Applications”,
https://www.fibreglast.com/product/vacuum-bagging-equipment-and-techniques-for-room-temp-applications/Learning_Center (2018).
36. İnternet: VAKUM, “Light RTM & Infision Vakum Sistemleri”,
http://www.vakumpompa.net/?p/2315/light_rtm_&_infision_vakum_sistemleri_resin_transfer_moulding (2018).
37. Goto, Ashgriz N. and Mostaghimi J. “Fluid Flow Handbook”, Chapter 20., *Toronto Üniversitesi.*, Toronto, 2-10.

38. İnternet: ANSYS, “ANSYS Fluent”,
<https://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent> (2018).
39. İnternet: FORD, “Ford Fiesta”,
<https://apps.ford.com.tr/ebrochure/brochurefiles/fiesta.pdf> (2018).
40. “COUNCIL DIRECTIVE on the approximation of the laws of the Member States relating to the fuel consumption of motor vehicles”, *Official Journal of the Ewopean Communities*, No L 375/36:, 85-96 (1980).
41. İnternet: Metoblue, “Meteorolojik Arşiv Bursa”,
https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/archive/bursa_t%C3%BCrkiye_750269?fcstlength=1m&year=2018&month=2 (2018).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Fatih UÇAR, 1988 yılında Bursa'da doğdu; ilkokula Aksaray'da başladı babasının öğretmen olması ve şehir değişikliğinden dolayı ilkokulu İzmit'te tamamladı. 1999 yılında ailece memleketi Bursa'ya dönüş yaptı ve orta öğretimini Bursa'da tamamladı. Bursa Erkek Lisesinden mezun olduktan sonra 2007 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Bölümü'nde başladı ve 2012 yılında tamamladı. İlk görev yeri olarak Otomotiv İhracatçılar Birliği Endüstri ve Meslek Lisesinde görevlendirme öğretmen olarak göreve başladı ve bir yıl süreli geçici öğretmenlik yaptı. 2013 yılında yine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Tasarım Uzmanı olarak OYAK RENAULT Otomobil Fabrikası'nda bir yıl süre ile çalıştı ve takip eden senenin ağustos ayı itibariyle TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikasında Tasarım Uzmanı olarak görevine devam etti. 2015 yılında Otomotiv ihracatçılar birliğinin düzenlediği Otomotiv Proje Pazarı Yarışması'nda "Güvenli Sürüş Alanı" isimli projesi ile en iyi 50 proje arasında yer aldı. 2017 yılında Savunma Sanayi Müsteşarlığının düzenlediği İnsansız ve Otonom Kara Araçları Tasarım Yarışmasında QAPGAN® SİKA ile dereceye girerek 13. oldu. 2018 yılının Şubat ayı itibariyle Türk Patent Enstitüsüne tescil ettirdiği "QAPGAN®" ile tasarım, karbon fiber parça üretimi, mühendislik ve danışmanlık alanlarında firma kurdu ve çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Güzelyalı Eğitim Mahallesi 806. Sokak No 8 Daire 6

Mudanya / BURSA

Tel : (507) 891 8902

E-posta : mfu@qapgan.com